PROF. ING. STANKO FLÖGL

ŠUMSKA PROMETNA SREDSTVA

II. DIO KLIZINE, PLAVLJENJE I ŽICARE

(PREDAVANJA)

IZDALO UDRUŽENJE
STUDENATA ŠUMARSKOG
FAKULTETA – ZAGREB
1936
LITOGRAF. UDRUŽ. STUD. TEHNIKE

880

Š U M S K A T R A N S P O R T N A S R E D S T V A

I I . D I O

K l i z i n e .
P l a v l j e n j e .
Ž i č a r e .

/ Predavanja /.

1250

K L I Z I N E

/Transport drva valjanjem i klizanjem/

1./ O p ć e n i t o. Drvo iz sječe u gorskom i bregovitom kraju otprema se često tek valjanjem ili klizanjem,na relativno kraćim potezima do transportnog sredstva većeg akcionog polumjera.Na primitivan način,pa na manje udaljenosti neposredno na naravnom tlu, savršenije i na veće udaljenosti na manje više dotjeranom tlu ili na vještačkoj podlozi.Drvo pokreće gravitacija.T.j. podloga treba da ima tolik nagib,da se drvo valja ili klizi samo zbog djelovanja komponente vlastite težine,koja je paralelna sa podlogom.Ta komponenta ne stavlja samo drvo u gibanje,nego ga i podržaje u tom stanju t.j. svladava svaki otpor na putu.Zbog toga traži primitivan način otpreme drva na rapavom naravnom tlu, koje obiluje i drugim kojekakim zaprekama,mnogo veći nagib od savršenijeg načina otpreme drva na zagladjenom putu ili na vještačkoj podlozi.No i jedna te ista podloga ne pruža jednaki otpor u svako doba.Na suhoj podlozi otpor je najveći; manji je na ovlaženoj,a najmanji na osniježenoj ili oledjenoj podlozi.Zavisi taj otpor još i o obliku,pa sortimentu drva koji se otprema.Zbog toga,na ovaj način otprema se drvo redovno tek periodički,t.j.u godišnje doba,u kojem je otpor podloge u najboljem skladu sa nagibom,pa sa sortimentom drva,koje se otprema.Što je podloga primitivnija,put transporta je kraći,a kvalitativni i kvantitativni gubitak na drvu /kalo/ je veći.Na primitivan način,na naravnom tlu, otprema se drvo zbog toga tek u nuždi,od zgode do zgode.Savršenija klizina služi nasuprot i kao stalno periodičko transportno sredstvo. Njezino uredjenje skopčano je sa izvjesnim troškom,koji se racionalno amortizira redovno tek dužom upotrebom.Zbog toga odabire se za savršeniju klizinu zgodno mjesto,koje otvara šumu u što većem opsegu,na što duže vrijeme,u skladu sa investicijama.Klizine,koje ra-

de u osniježenom ili oledjenom stanju traže jednoličnо nisku temperaturu,kroz što duže vrijeme.One pako,koje su aktivne tek u ovlaženom ili u suhom stanju,iziskuju velik nagib.Jednom i drugom zahtjevu udovoljava u punoj mjeri gorski kraj.Zbog toga je klizina u glavnom tipično gorsko transportno sredstvo.Glavna odlika ovog načinn transporta je pak jeftin pogon / gravitacija/,neznatan trošak manipulacija,pa razmjerno malen investicioni trošak.Poradi tih svojstava nastojalo se klizinu prilagoditi i krajevima,koji nemaju spomenuta svojstva gorskog kraja /naročito nagib u svim varijacijama/.Tako je nastalo vodeno točilo,u kojem klizi drvo uz razmjerno malen nagib,jer voda znatno smanjuje trenje u njem.Prema tome čine klizine takodjer prelaz od puteva do vodenih kanala,u kojima već ne klizi drvo,nego se otprema plavljenjem ili splavarenjem.Kako se je pak iz najprimitivnije klizine razvila savršenija i u kojem smjeru,opisano je podrobnije u daljnim točkama.-

3./ V a l j a n j e, k o t r l j a n j e d r v a n a n a r a v n o m t l u / H o l z f ä l l e r n/.

Izradjeno drvo razne veličine i oblika otpušta se nizbrdo na cijeloj površini sječe,na nedotjeranom,naravnom tlu,dovoljnog nagiba.Na najbližim zgodnim mjestima stavlja se u gibanja s pomoću naročitog oruđja-capina.Već prema nagibu i stanju tla,tako potjerano drvo klizi, kotrlja,valja se ili ruši niz brdo,gdjekad dapače i leti po raštrkanim putevima,nepravilnih linija sad više sad manje divlje.Usput udara i ruje tlo,goni zemlju i kamenje.Na zaprekama zapinje i taloži se sve ovo,a drvo se često splete u zamršenu gomilu,čvor,koji se razmrsuje mučno,kadkada i uz pogibelj života.Takav čvor rado se stvara u udolicama a i drugdje iza zapreka,koje smetaju prometu.Na pr.iza panjeva,stršećih litica i t.d.Ovaj način transporta,i ako se gdjekad ne može mimoići,svakako je najprimitivniji,najsuroviji.Uz najveći kalo na drvu,za zaposleno radništvo je najpogibeljniji.-

3./S p u š t a n j e d r v a n a o b l o ž e n o m t l u /T ä f e l u n g,T a f e l w e r k e/.

Na naboranom tlu,u vrhu udiolice,žljeba,slabijeg nagiba,na grubo obloži se tlo oblicama u više redova.Oblog se pomiče niz brdo postepeno,da se oblice najgornjeg reda dignu sa tla,spuste po oblogu na donji kraj i ondje s njima opet obloži tlo tako,da sad sačinjavaju najdolnji red obloga.Taj se postupak obnavlja,dok drvo ne stigne do svoga odredišta.Budući da je koeficienat trenja na oblogu manji nego na naravnom tlu,mogu se iskoristiti i udolice slabijeg nagiba kao klizine na ovaj način.Kalo je mnogo manje,a sigurnost zaposlenog radništva mnogo veća nego u prvom slučaju,jer drvo klizi u odredjenom smjeru,na obloženom tlu.-

4./ P l a z a j i c a /E r d g e f ä h r t e /.

To je naravni žljeb,udolica prosta od drveća u gorama redovno velikog nagiba,jednostavnim sredstvima vještački dotjerana,u kojoj klizi drvo zbog gravitacije.Dno plazajice se izravna,zapreke odstrane,a rupe zatrpaju.Veće jame premoste se oblicama,položenima jedna do druge,u obliku plitkog žljeba.Linija neka je po mogučnosti ispružena. Imali oblik krivulje,vanjski rub treba ograditi niskom stijenom,izgradjenom od oblica,kamenja granja ili zemlje,da drvo lako ne iskoči.Mjestimične smetnje,zbog premalenog nagiba,mogu se ublažiti,da se dno obloži oblicama.Drvo treba da izlazi iz plazajice umjerenom brzinom,da se sačuva od ozljeda prigodom ispadanja.Najednostavnije čini se to tako,da se najprije nadošlo drvo složi u smjeru linije plazajice na kraju,jedno do drugog i povrh drugog dovoljno visoko, a najgornji red izradi se u obliku žljeba,koji siže dovoljno daleko u plazajicu,u dovoljno blagom nagibu.Poslije nadošlo drvo klizeći izgladi dno plazajice,pa dotjeruje oblik linije za transport sve povoljnije,automatski.-

Potreban nagib zavisi o drvu,koje se otprema,pa o godišnjoj dobi u kojoj se otprema.Na suhom tlu dugo drvo klizi već uz nagib od 20%, trupci uz nagib od 40%,a cjepanice uz nagib od 60%.Osniježena ili oledjena plazajica može se upotrijebiti tek ako joj nagib leži ispod 20%.

Istodobno mogu se otpremati tek isti sortimenti,najuspješnije: oguljeno dugo drvo ili trupci,što jednoličnijeg oblika.-Cjepanice mučno se otpremaju neposredno.Traže veliki nagib,a i onda često zapinju,te ostaju ležati na kojekakim zaprekama i stranama.Bolje ih je otpremati u obliku 2 m.dugačkih oblica,pa izraditi u cjepanice tek nakon izvršenog transporta.

Budući da se koeficijenat trenja mjenja pod utjecajem atmosferilija i u istom danu,drvo klizi raznolikom brzinom u njoj.Nije li linija povoljnog oblika,a podloga dovoljno pripremljena,te osigurana,dogadja se,da drvo ne klizi nego se kotrlja,skače,dapače i leti na mjestima prevelikoga nagiba,poput hitca,te opet pada na tlo, često izvan linije,izgubi odredjen smjer,ruši se po strani nepravilno,dok ne zapne na kakvoj zapreci.Takovo drvo povlači granje,zemlju i kamenje sa sobom.Ovo opet pada u plazajicu,taloži se u dnu mjestimično u tolikoj mjeri,da prekida promet.Zbog toga potreban je naročiti oprez kod otpremanja drva na ovaj način,te zaposliti tek spretno,izvježbano i disciplinirano radništvo.U protivnom slučaju nesreče nijesu isključene.Drvo gubi deset do trideset posto na kvaniteti a 10 - 50% na kvaliteti.Upotrebljava se zbog toga uspješno tek na kračim potezima naravnog tla,povoljnog nagiba,kao sporedno transportno sredstvo.

Plazajica,prepuštena sama sebi lako se prometne u vododerinu, te može biti povod podivljanju šuma.Nakon dovršenog transporta trebaju zbog toga osigurati od razornog djelovanja vode.U tu svrhu izgrade se u njoj stepenice od pletera sa nagibom od oca 5%.Ili se izvede garnisaža:granato stablo položi se u jarak sa debljim krajem uz brdo.Ovako položeno drvo ne klizi,jer mu se grane zariju u tlo.Na takovoj vještačkoj zapreci zapne granje,lišće,kamenje,pijesak i mulj, koje voda donosi sa sobom i jarak zatrpa.Može se jarak osigurati i kolčićima,zabitima u tlo toliko,da strše još 20-30 cm.izvan zemlje. Medju kolčiće natrpa se kamenje ,a jarak i obala se pošumi.-

5./ T o č i l o i z r a d j e n o u z e m l j i /E r d r i e s e /

Je vještački izradjena plazajica u zgodnom naravnom tlu.Izvadja se u obliku 0,30 m.dubokog i 0,80 - 1,0 m.u vrhu širokog žljeba.Iskopanim materijalom naspu se obostrano nasipići koji povisuju obale žljeba.U krivulji,na konveksnoj strani,izvadjaju se slične naprave kao kod plazajice,koje spriječavaju ispadanje drva iz žljeba.Linija točila treba da je što više ispružena,većeg nagiba na početku,a manjeg na kraju.Graditi se može tek u dobrom i otpornom tlu.Ovakav vještački jarak treba brižno odvoditi,na način opisan u slijedečoj točci.Ostalo,rečeno kod plazajica vrijedi i ovdje.Ipak treba imati na umu,da drvo ozljedi i najbolje tlo,ako često klizi po njemu,da ovako vještački iskopani žljeb može biti povod bujici,da nije uputno šumsko tlo vještački izvrgnuti bujici,bez prijeke potrebe.Najmanje trpi od prometa,ako se upotrebljava tek zimi u osniježenom ili oledjenom stanju.U vrijeme ali,u koje ne radi,trebaju zaštiti od vododerina.Upotrebljava se na kračim potezima povoljnog tla,jer je jeftina.Čini prijelaz od plazajice do putoklizine,koja se opisuje u slijedečoj točci,pa može biti zbog toga lošije i bolje transportno sredstvo,već prema tome,da li se približuje više plazajici ili putoklizini,po načinu izradbe.

6./ P u t o k l i z i n a /R i e s w e g /

a/Općenito. Kotrljanje i klizanje drva opisano u prijašnjim točkama,odvija se na nikako ili na u najnužnijoj mjeri dotjeranom naravnom tlu,dovoljnog nagiba.Linija puta slijedi gotovo točno liniju tla.Kod najprimitivnijeg načina nije ni unaprijed odredjena:svako drvo putuje svojim putem,ili je u glavnim potezima odredjena linijom kakvog prirodnog žlijeba,udolice i t.d.Vještačke radnje i naprave ograničuju se na otstranjenje tek krupnih zapreka.Drugačije je kod putoklizine,koja se trasira poput ceste.Njezina linija prilagodjuje se doduše naravnom tlu,no tek u izvjesnim granicama.Ova treba da zadovoljava odredjenim tehničkim uvjetima,te potrebama prometa. Obazire se na mehaniku klizanja,pa nastoji iskoristiti djelovanje gravitacije tako,da se postigne,uz minimalni kalo,najveći efekat

transporta t.j.najveća sposobnost rada na što veću dužinu.-Vodi račun o potrebama šume.Zbog toga polaže se putoklizina tako,da otvara šumu u što većem opsegu.

Putoklizina je stalno transportno sredstvo, zbog toga gradi se solidno,pa uzdržava brižno.Podlogu putoklizine,donji stroj,trebaće dakle tek vještački stvoriti.Biće potrebno izvoditi zemljoradnje, podizati objekte,graditi propuste,zaštitne uredjaje,pobrinuti se za valjanu odvodnju,slično kao kod cestogradnje,i ako u manjem opsegu. Biće potrebani naročiti gornji stroj,stručno izradjen prema potrebama klizanja.

Zbog velike diferencije vrijednosti kojeficijenta trenja u razno godišnje doba,putoklizina je takodjer tek periodično transportno sredstvo.Zimske putoklizine rade uz najmanje vrijednosti kojeficijenta trenja.Upotrebljavaju se tek u osniježenom ili oledjenom stanju. Ljetne putoklizine udešene su za veće ili velike vrijednosti tog kojeficijenta i zbog toga rade u ovlaženom ili u suhom stanju u proljetno i jesensko,pa u ljetno doba.Aktivnost putoklizine ograničena je dakle odredjenim intervalom vrijednosti kojeficijenta trenja.Što je taj interval manji, aktivna dužina putoklizine je veća. Da se postigne što veća dužina transporta,gradi se putoklizina zbog toga prema godišnjoj dobi i stanju u kojem se pretežno nalazi,po tipovima kako slijedi:

osniježena zimska putoklizina,
oledjena -"- -"-
ovlažena ljetna -"-
suha -"- -"-

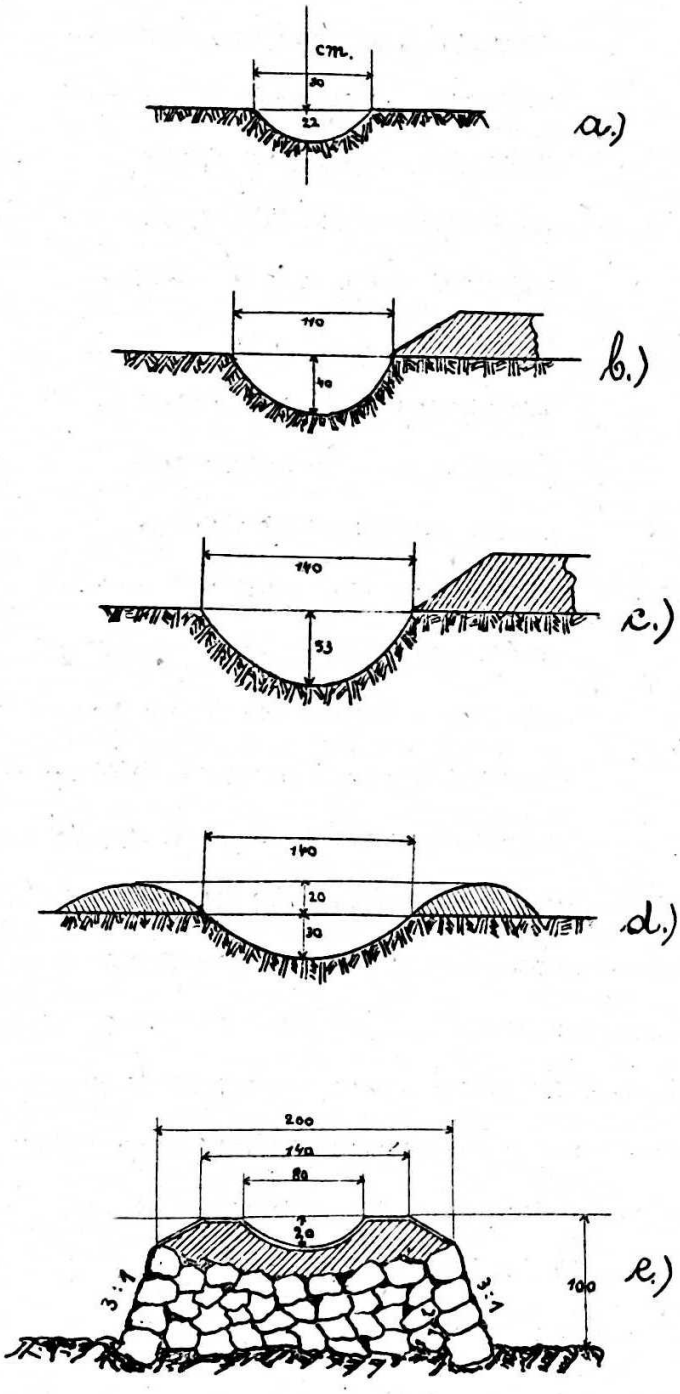
Dužina zimske putoklizine,aktivne na pr.jednako u osniježenom kao i u oledjenom stanju,ili ljetne u ovlaženom i suhom stanju,svakako je manja.-

Tipična su nadalje za svaku putoklizinu tri glavna njezina dijela. A to su: p o č e t n i, s r e d n j i i z a v r š n i d i o. Svaki ima naročitu funkciju.

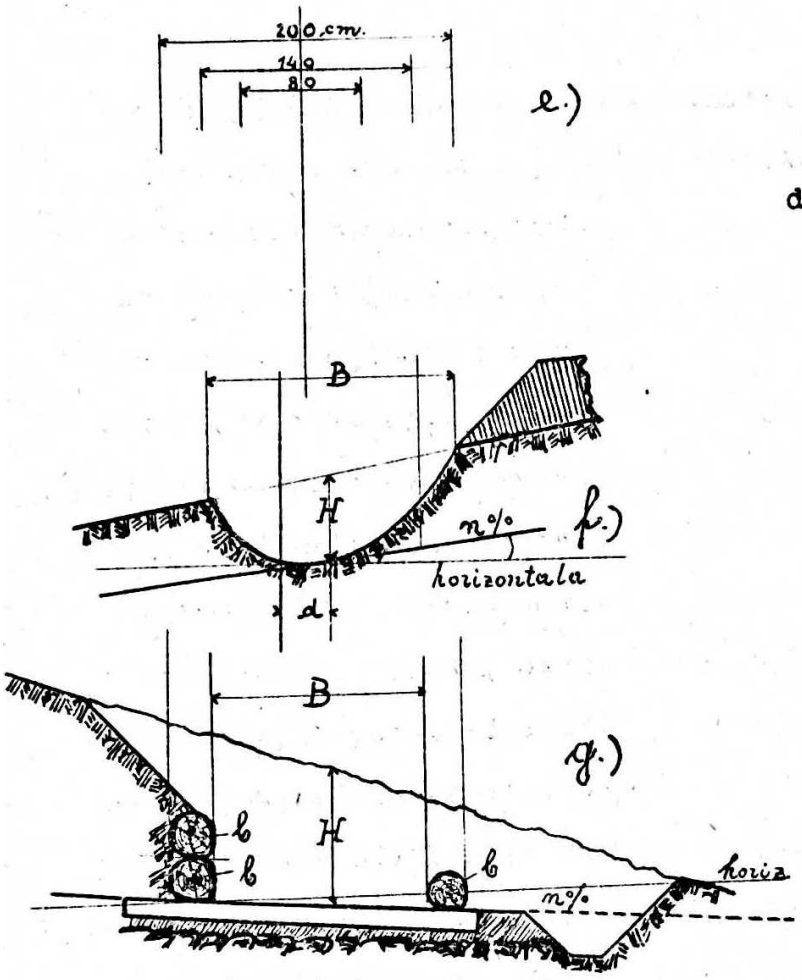
U p o č e t n o m dijelu /Einkehr/upušta se drvo u klizinu i stavlja u gibanje.U gornjem dijelu s r e d n j e g dijela/Förderstrecke/

drvo treba da postigne brzinu ,s kojom će lako svladati odredjenu dužinu puta,pa konačno se zaustaviti u naročito udešenom z a v r š n o m dijelu /Auslaufstrecke/.Putoklizina je odlično gorsko transportno sredstvo uredjene šume.Poradi toga opisuje se njezin uredjaj podrobnije.-

b/Gornji stroj putoklizine. Najednostavniji gornji stroj je žlijeb izradjen u naravnom tlu.Može se ali upotrijebiti samo u otpornom, dobro povezanom tlu.Širina i dubina žlijeba zavisi naravno o gradijanti/niveleti/ klizine,koja može prolaziti nivoom,iznad i ispod tla,pa o sortimentu drva,koje se otprema.Minimalne izmjere u nivou predočuje slika 1/a/. Slika 1/b/predočuje nešto veći takav profil,djelomično ugradjen u tlu,a djelomično omedjašen nasipima od materijala iskopanog iz žlijeba. Slika 1/c/ i 1 /d/ predočuje dublje usječene žlijebove, zbog gradijante,koja silazi ispod nivoa tla.Iskopani materijal deponiran je na zgodnijoj strani.Slika 1/e/ predočuje žlijeb izradjen od žilavog zemljanog materijala/pjeskovita ilovača/na nasipu od kamenog sloga.Ovako se izradjuje žlijeb na potezu klizine u pravcu.U krivulji mjenja žlijeb oblik/slika 1/f/.Zbog djelovanja centrifugalne sile



slika: 1.

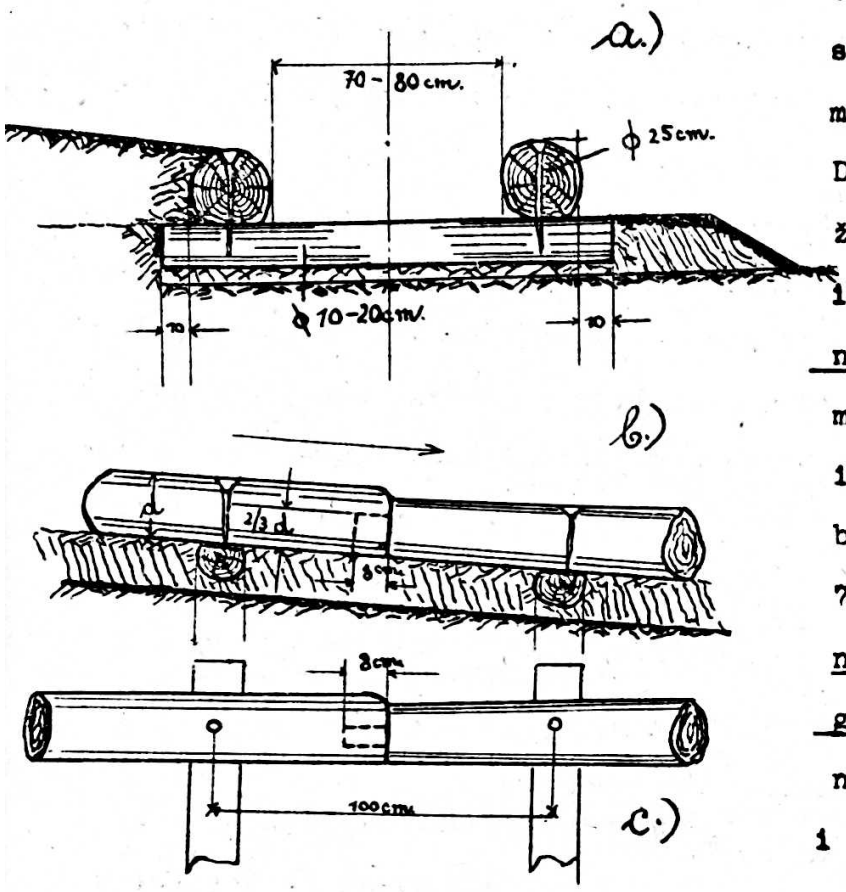


slika: 1.

potrebno je i ovdje, slično kao kod željzničke pruge, izvjesno "proširenje" i "nadvišenje". Proširenje se izvodi, da se žlijeb razmakne prema središtu krivulje, u dnu, za iznos d /slika 1f/. Taj iznos zavisi o dužini drva, pa o polumjeru krivosti. Proširenje neka nije veliko, jer u širjem žlijebu od 2 m. drvo ne klizi sigurno, gubi p o v o d /Führung/.

Prošireno dno, na dužini d, izvadja se u nagibu $n\%$ prema središtu krivulje. "Poprečan taj nagib" zavisi o predvidljivoj najmanjoj brzini, s kojom će drvo prolaziti krivuljom pa o polumjeru krivosti. Zbog toga je taj nagib malen, iznosi tek nekoliko postotaka. Kod malenih brzina može izostati uopće. Dio žlijeba na konveksnoj strani krivulje treba naročito osigurati, izvesti od najboljeg materijala, pa zaštiti nasipom, povrh ruba, da drvo ne iskoči lako. U oštrim krivuljama i najbolji materijal teško odoljeva razornom djelovanju prometa. Na takovim mjestima gornji stroj, namjesto oblog žljeba, poprima oblik predočen na slici 1/g/. Dno treba obložiti pragovima, a obale osigurati drvenim braničima na način, kako se opisuje kod slijedečeg oblika gornjeg stroja.

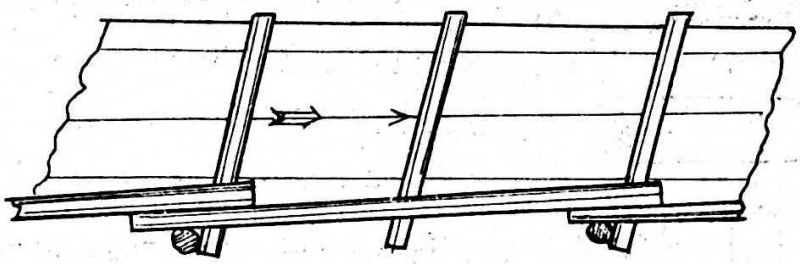
Najotporniji, najbolji i zbog toga najviše proširen je t.zv. š v a r c v a l d s k i gornji stroj /švarcvaldski profil/. Na potezu u pravcu, na izravnani planum klizine, razastre se 15-30 cm. visoko stelište,



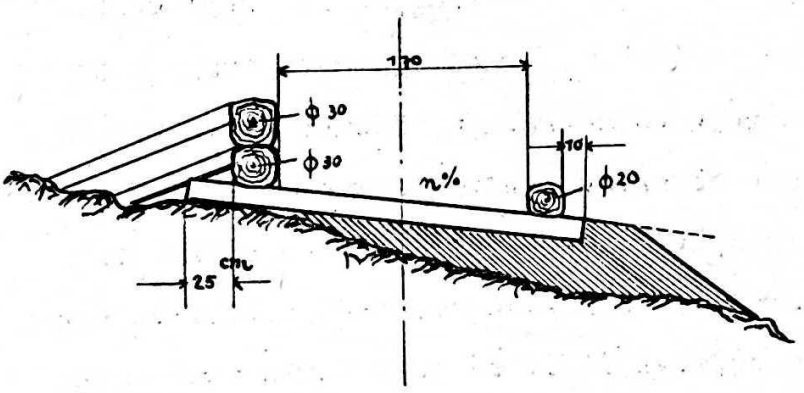
slika: 3.

od žilavog ilovastog materijala, a u ovo ugrade se poprečni pragovi u razmacima od cca 1,0m.i više. Da im se krajevi ne izdižu, pritiskuju ih kontinuirano položeni uzdužni braniči, oblice cca 25 cm.promjera.Ovako se pragovi lako izmjenjuju.Svjetli razmak braniča mjeri normalno 70-80 cm.Pragovi su dvojaki, normalni 10-15 cm.i t.zv. glavni 15-20 cm.jaki.Jedni i drugi su pritesani i zagladjeni sa gornje strane /sl.3b/.Normalni pragovi izradjuju se iz mekanih oblica,no i bukove oblice rado upotrebljavaju u tu svrhu,jer su kliske,a duže traje od mekanih,u vlažnom ilovastom tlu. Vlakanca mekanih pragova rado se naime rascihaju pod prometom i zbog toga brže propadaju.Glavni pragovi izradjuju se po mogućnosti iz trajnijeg materijala / arišovine/.Na glavne pragove pribiti su braniči,svaki barem sa tri,45 cm.dugačka,15/15 mm.jaka čavla,upuštenih glavica.Normalno /u pravcu/ ispod svakog braniča smještena su dakle barem tri glavna praga,u razmacima od 5-8 m.,već prema dužinibraniča.U krivulji,već prema njezinoj krivosti,taj se razmak smanjuje, dakle broj glavnih pragova ispod jednog braniča povećaje.Medju glavnim pragovima smješteni su normalni pragovi i to okomito ili koso prema uzdužnoj osovini.Koso se polažu,kad se želi utjecati na smjer klizanja,pa drvo odmaknuti od jedne ilidruge stijene braniča.Normalan razmak pragova /1,0 m./može se povećati u pravcu,na dobrom tlu, i to znatno u povoljnim prilikama,naročito kod zimskih klizina.

Smanjuje se taj razmak.kad treba zaštiti podlogu od dinamičkih utjecaja prometa,na pr.u prelaznim krivuljama na lomu nagiba,pa u krivuljama u opće,u pravcu na donjem stroju i stelištu od lošeg materijala; zatim kad se želi smanjiti trenje na potezima slabijeg nagiba; na takim mjestima može se u opće obložiti planum na gusto položenim oblicama po potrebi.Ako treba spriječiti pomicanje /putovanje/u lošem materijalu,pričvršćuju se pragovi na naročito podmetnute uzdužne podvale.Braniči polažu se sa debljim krajem nizbrdo.Tanji kraj donjega učepljen je u deblji kraj gornjeg braniča prema sl.br.2/b/i /c/.Ovako se montiraju najobičnije.Gdjekada i na način predočen na sl.3.Prvi način sudaranja daje beasprijekorno ravnu i glatku unutarnju stijenu,a drugi olakšava izmjenu braniča,može se ali upotrijebiti tek u pravcu.U krivulji treba proširiti profil i to stim više,što je krivost veća,a drvo,koje se otprema,duže. Svjetla širina izmedju braniča,veća od 2 m. ipak ne valja,jer drvo ne klizi mirno na širokom putu.Proširuje se pak pruga prema unutarnjoj strani krivulje.Potrebno nadvišenje postizava se,da sepragovi polože u nagibu od n% prema središtu krivosti.Taj nagib neka nije velik /od 0-10%/,a rečeno o njem kod žlijeba vrijedi i ovdje.Stijena,izradjena od 2-3 braniča na konveksnoj strani krivulje,treba da je glatko istesana i točno prilagodjena obliku trasirane krivulje.U tu svrhu najbolje je upotrijebiti od naravi već savito drvo,jer ta stijena nesmije pokazivati nikake



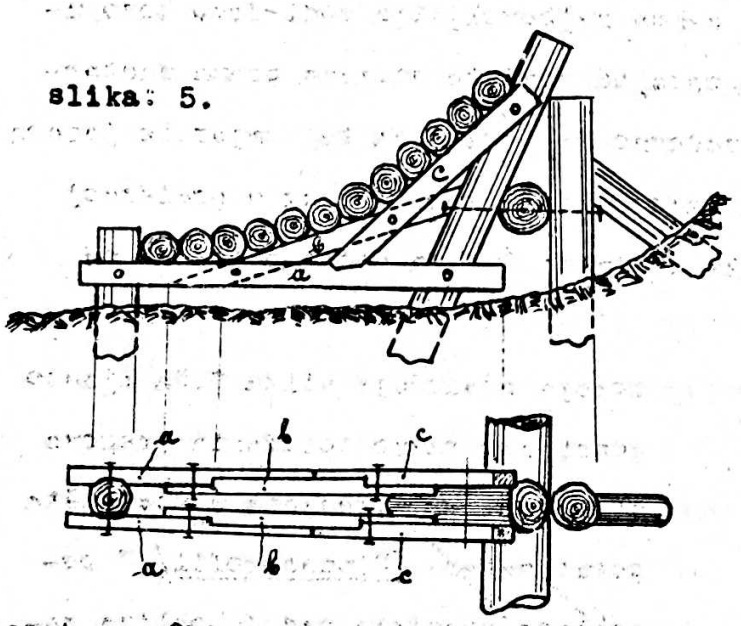
slika:3.



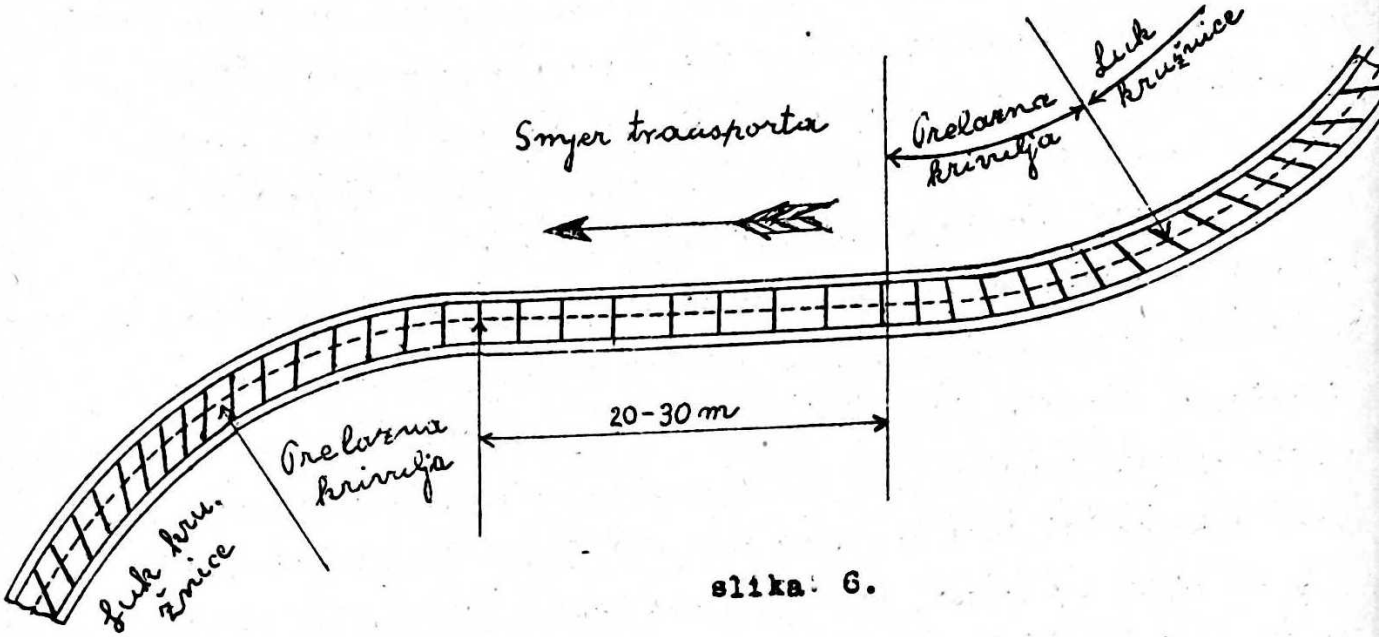
slika: 4.

neravnosti,čoškove ili slično,nego treba da je potpuno pravilna i glatka.ona vodi drvo kroz krivulju.Vanjski braniči treba da su jači /ϕ 30 cm./od unutarnjih /ϕ 20 cm./ili od onih u pravcu,a pragovi treba da presižu 20-30 cm.stijenu braniča,dakle više nego u pravcu/ sl.4/. Donji red braniča montira se na pragove kao u pravcu.Gornji red obrnuto:sa tanjim krajem nizbrdo,a pričvršćuju se na donje braniče sa 45 cm.dugim,prije opisanim čavlima.Sudari gornjih i donjih braniča neka ne leže u istom profilu.Stijenu braniča treba poduprijeti sa vanjske strane svakako u krivulji,kad i kad ali i u pravcu,ako su pragovi koso položeni,da se spriječi proširenje pruge.Služe u tu svrhu naročite kosnice,učepljene i pribite drvenim čavlima o stijenu braniča,pa poduprte u tlo neposredno ili u podloženu podlogu posredno, u primjerenim razmacima /sl.4./.Preporuča se kosnice još zasuti zemljom,da ih ne ozlijedi slučajno sa pruge ispalo drvo.Upotrijebi li se u tu svrhu kamenomet,treba ga dobro povezati ilovastim materijalom.U oštrim krivuljama takav nasip ne može izostati u opće,a izvesti ga treba iz najboljeg materijala,pa dobro nabiti. Dr.Hauska preporuča konstrukciju gornjeg stroja u krivulji,izvedenu na način,predočen na sl.5.Ne uzmu li se u račun 10-12 cm.jake oblice,koje služe ovdje kao neposredna podloga prometu,ova konstrukcija ne traži više drva nego prva,jer otpadaju pragovi i braniči.Na mjesto ovih izradjuju se jarmovi,povezani kliještima *a, b* i *c* u razmacima od 0,8-1,0 m.Ova konstrukcija vodi račun o poprečnom nagibu u krivulji,koji je funkcija i brzine,treba dakle da je promjenljiv poput ove.Oblice smanjuju trenje,a štede transportirano drvo.Na mjesto oblica još bolje može poslužiti željzni lim prema prilikama. Promet uništi naime oblice prilično brzo.U oštrim krivuljama,pa kod otpreme raznoličnih sortimenata,koji klize različnim brzinama,može

slika: 5.



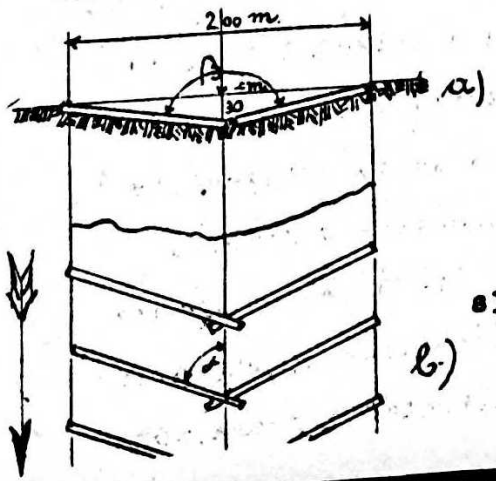
se svrsi shodno upotrijebiti ova konstrukcija i to jednako dobro kod klizina sviju vrsti,Svakako će biti dobro i ovom slučaju jarkove zasuti,te gornji rub žlijeba nadvisiti dobro izvedenim i nabijenim nasipom u oštrim krivuljama.



slika 6.

Upotrijebi li se švarcvaldski profil u krivulji,a to se preporuča, naročito u onima manjih krivosti,drvo treba voditi pred krivuljom već tako,da u njoj zauzme obzirom na djelovanje centrifugalne sile najpovoljniji položaj.U tu svrhu služe ne samo braniči nego i zgodno smješteni pragovi.U krivulji nam je najpovoljnije vodi drvo koso ugradjeni prag,u smjeru transporta,od vanjske stijene prama unutarnjoj.U pravcu položaj praga redovno je okomit na taj smjer.Iz jednog položaja u drugi postepeno i najzgodnije prelazi prag u prelaznoj krivulji izmedju pravca i luka kružnice p.p na način predočen na sl.6.

Treći oblik konstrukcije gornjeg stroja predočuje slika 7.Na mjesto poprijeko ravno položenih pragova služe oblice,ugradjene u steljište poput rebara /Rippenprofil/.U poprečnom presjeku padaju oblice zajedno sa steljištem prema osovini pruge,te zatvaraju kut β medjusobno /sl.7.a/.Čim je taj kut manji



slika:7.

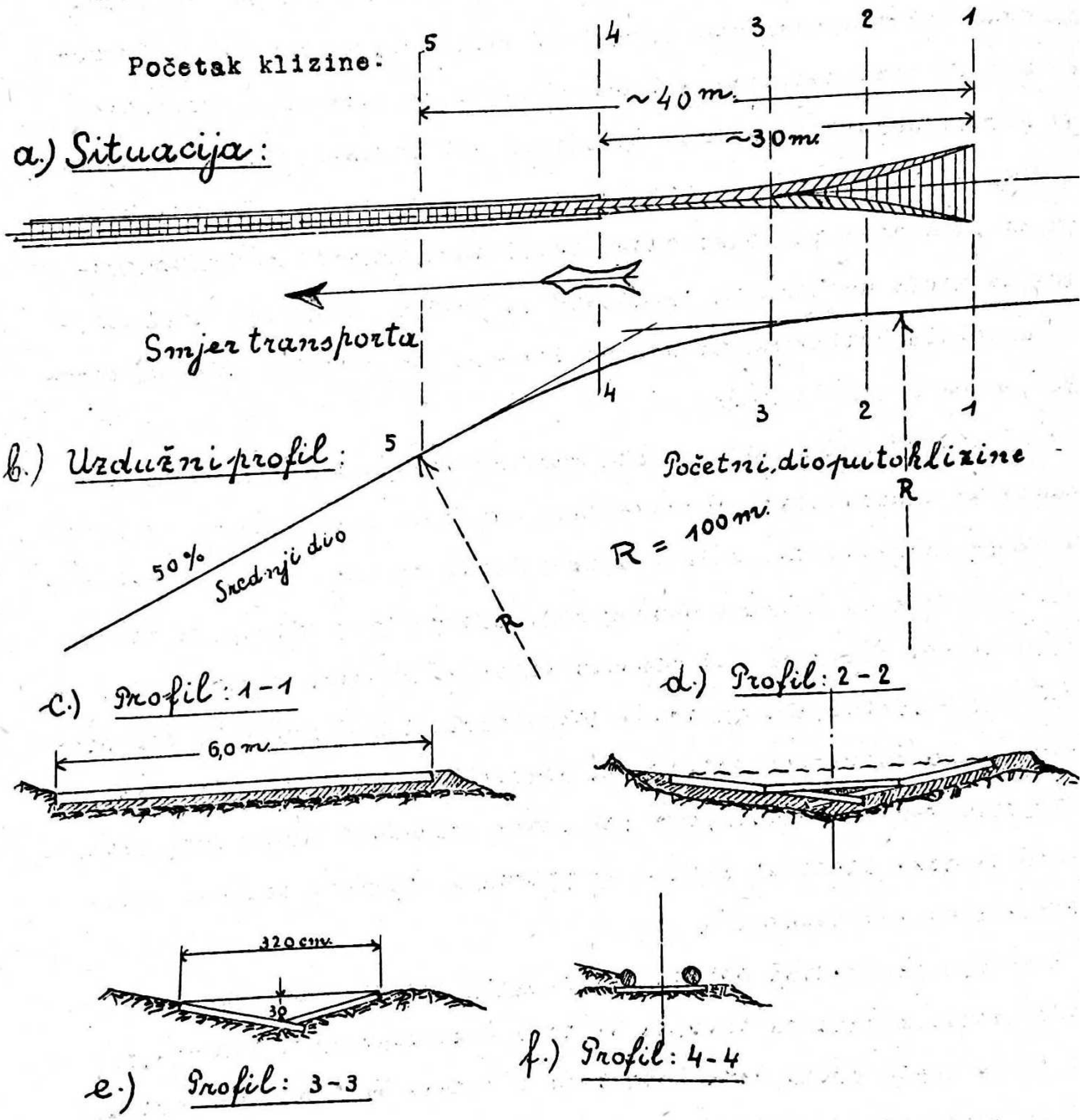
veće je trenje kod prometa.-U smjeru transporta oblice su takodjer nagnute prema uzdužnoj osovini,s kojom zatvaraju kut α u iznosu od oca 80° /sl.7 b/,te se upiru ovdje u tlo,ukrštavajući se.Bez branića,na ovaj način u stelište ugradjene oblice dosta su slabo učvršćene.Promet ih brzo razgiba,te izbaci.Zbog toga može se upotrijebiti takav gornji stroj tek u vrlo povoljnim prilikama:u pravcu,na dobrom tlu,na mjestima malenih brzina.Ne može se izvesti ni u kakvoj krivulji,na preslabom ili pretvrdom /litičastom,kamenitom/tlu.Upotrebljava se dakle uvjetno,da se uštedi na gradji /odpadaju braniči/, pa u naročitim prilikama,na pr.kod prelaza konsrukcije gornjeg stroja iz jednog oblika u drugi.-

Osim već rečenog,kod izbora oblika gornjeg stroja,treba uvažiti ovo: Najčešće se upotrebljava švarcvaldski oblik sa pragovima,manje žlijeb, a najmanje rebrasti oblik.Žlijeb ne podnosi velike brzine,upotrebljava se zbog toga na prugama blažeg nagiba,povoljnog smjera,na dobrom i otpornom tlu /najviše kod zimskih klizina/.Uz veći nagib izvodi se žlijeb tek u litici,ali ga treba dobro izgladiti.U lošoj litici biće ipak potrebno osigurati podlogu sa pragovima i braničima.Švarcvaldski profil,osim već spomenutih,ima još i ove prednosti:dobro vodi drvo, odlično se može odvoditi i lako se uzdržaje /izmjena trošne gradje i popravci su jednostavni/.

Naročito je uredjen početak t.zv. usta putoklizine /Riesmund, Eikehr/.Konstruirana su tako,da se drvo lako stavlja u gibanje,a opet da ne uteče prije reda.Zbog toga izvedena su u blagom nagibu /5%/,pa proširena na početku,na 3-6 m.Poslije se postepeno suzuju na normalnu širinu pruge.U situaciji pokazuju tipičnu sliku lastavičjeg repa.Gornji stroj sastoji na početku tek od dugačkog poprijeko i horizontalnog ugladjenog praga /profil 1-1/,poslije prelazi u oblik trapeza /profil 2-2/,zatim poprima rebrast profil /profil 3-3/ i konačno normalan oblik /profil 4-4/.Dužina ustiju mjeri oca 30 m.

Na kraju putoklizine /Auslaufstrecke/,na stovarištu potrebne su takodjer naročite uredbe.Svrha im je da zaustave drvo,da omoguće automatsko ispadanje pa slaganje drva na stovarištu.U prvom redu treba da je već linija vodjena i položena tako,da drvo stigne sa

minimalnom brzinom na prostor, određen za izlaz iz putoklizine /od profila 2 do profila 6 sl.9/.

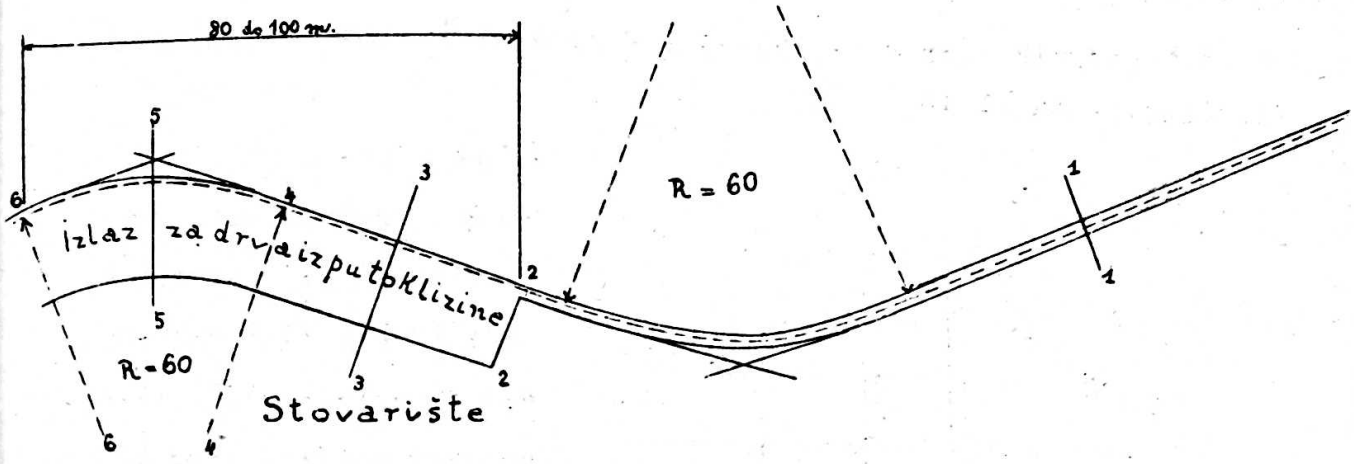


slika. 8

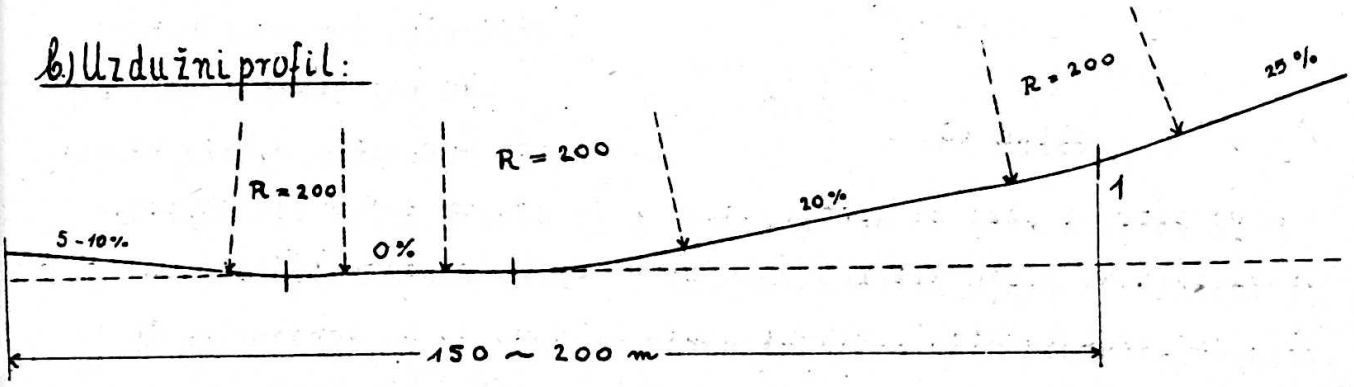
U drugom redu treba preurediti gornji stroj svrsi shodno. U profil svršava normalan izgled gornjeg stroja. Na tom mjestu proširuje se pruga, pa se izvodi sa poprečnim nagibom prema stovarištu, sukce sivno što dalje to većim, od 0-20% i više. Pragovi su znatno produženi i više manje na gusto položeni, već prema prilikama tla i sto varišta.

U drugom redu treba preurediti gornji stroj svrsi shodno.U profilu 2 svršava normalan izgled gornjeg stroja.Na tom mjestu proširuje se

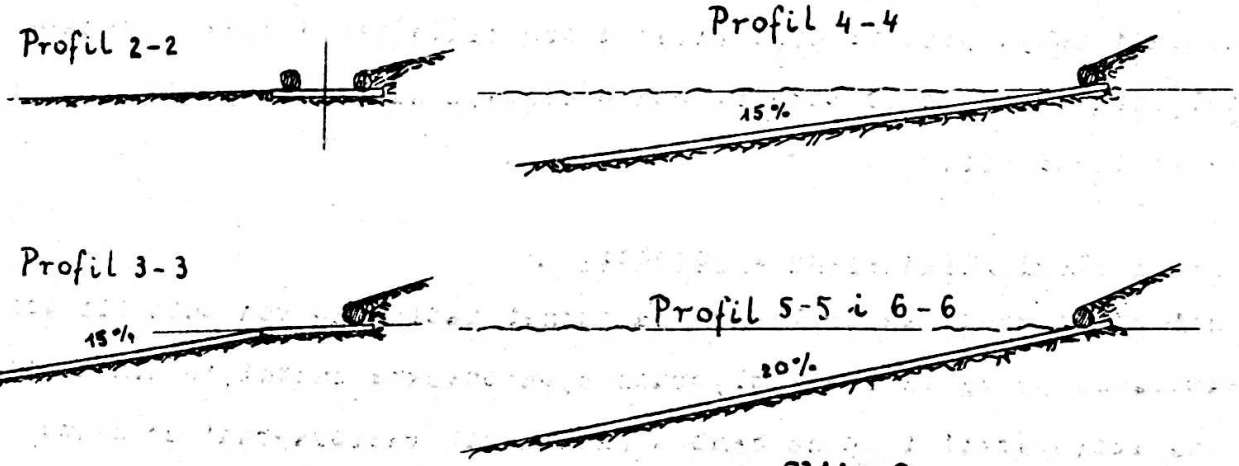
a.) Situacija:



b.) Uzdužni profil:



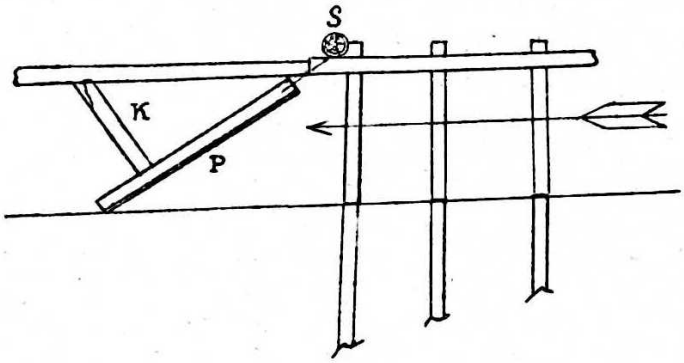
c.) Poprečni profili:



Slika 9.

pruga,pa se izvodi sa poprečnim nagibom prema stovarištu,sukcesivno, što dalje to većim,od 0-20% i više.Pragovi su znatno produženi i više manje na gusto položeni,već prema prilikama tla i stovarišta.

Dužina stovarišta mjeri 80-100 m.Ono treba da leži niže od klizine. Na taj način drvo ispadajući iz klizine,slabo i lako prije,a jako i teško poslije,sortira se i slaže,neozlijedivši jedno drugo,samo od sebe.Ispadanje može se regulirati i vještački,s pomoću <u>grede-skretalike</u>,prema sl.10.



Slika 10.

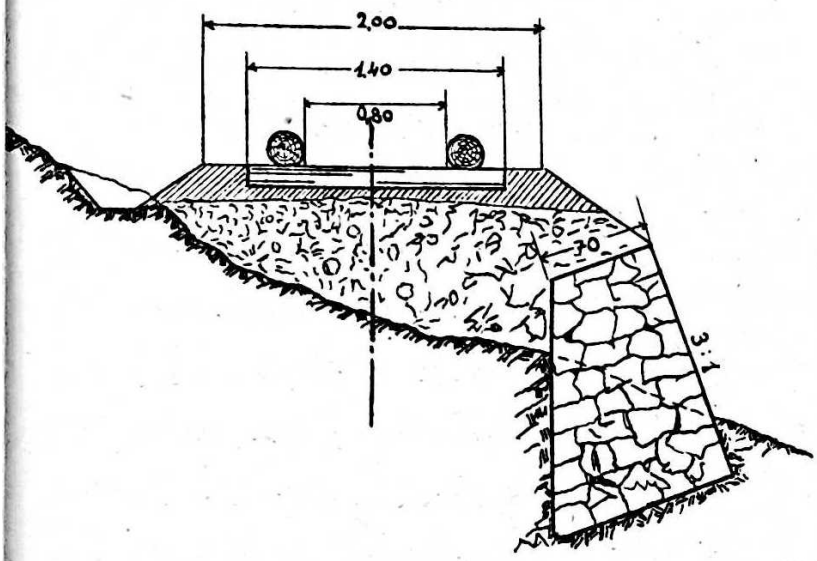
Ta je greda ovješena s pomoću kratkog lanca na čvrsto zabiti i dovoljno jaki stup S /ili stablo, ako se nalazi u blizini/, popreko klizine koso položena i u tom položaju poduprta još sa kosnicom K .Na taj način skreće drvo na poželjnom mjestu iz klizine.Po potrebi može se upotrijebiti i na drugom kojem mjestu,izvan stovarišta.Na kraju klizine /profil 6 / treba postaviti stalnu brklju,najjednostavnije zemljani nasip,na kome će se zaustaviti do ovog mjesta stiglo još koje drvo.

Gornjem stroju pripada još i steljište.U pravilu izvodi se iz žilave zemlje,koja dobro veže.Dolazi u obzir ilovača,izmješana pijeskom ili šljunkom.Mjesta,jako izložena udarcima prometa,najbolje je potaracati medju pragovima,pa tarac dobro zagladiti.U svakom slučaju steljište treba dobro podbiti pod pragove,a nabiti medju njima i glatko izravnati.

C) <u>Donji stroj putoklizine i objekti.</u>

Donji stroj gradi se u glavnom na poznat način kao kod puta ili kod uskotračne pruge.Velike zemljoradnje,pa objekte znatnijih dimenzija treba izbjegavati i to ne samo s ekonomskih razloga,-radi se naime o sporednom transportnom sredstvu,koje treba da konkurira drugim takvim sredstvima,- nego i zbog povoljnijeg odvijanja transporta. Koeficijenat trenja u dubokom usjeku znatno se razlikuje od koeficijenta trenja na visokom nasipu i na inače jednako konstruiranoj

podlozi.Visina nasipa neka ne premašuje 3 m.,a dubina usjeka neka je po mogućnosti još manja.Nizak nasip gradi se,bolje nego od zemlje,slogom od kamena,u reškama zapunjenog zemljom,koja dobro veže, na način predočen na sl.1 ℓ/.Ovisoki nasip na obronku brijega treba podzidati suhozidom sl.11 ili kamenim slogom.



Slika 11.

Na mjestima,na kojima će nasip biti izvrgnut jakim udarcima prometa /na pr. u vertikalnoj krivulji,konkavnoj prema gore/ najbolje je nasip izgraditi iz zidja u cementnom mortu,naravno,na stručno izvedenom temelju.Prugu u usjeku predočuje sl.1 g/.Naročito se upozoruje na brižnu odvodnju donjeg stroja.

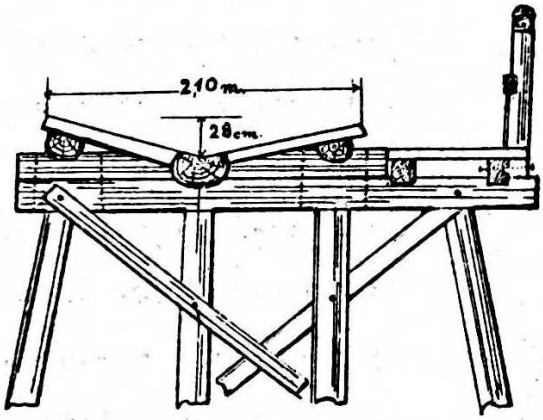
Tu vrijede poznata već pravila:planum izraditi u obostranom ili jednostranom poprečnom nagibu; u usjecima izvesti obostrano ili samo jednostrano paralelni jarak svakako;iskopati podnožni jarak uz nasip,a rubni jarak uz gornji rub usjeka,ako treba.Upotrijebiti drenažu,procjednice,naročito za odvodnju planuma i sve druge poznate zaštitne mjere protiv deformacije ili raspadanja zemljoradnja i donjeg stroja po potrebi.-

Površinska voda odstranjuje se sa planuma svrsi shodno mnogobrojnim otvorenim propustima.To su dva na blizu smještena praga,medju kojima se ostavi 10-20 cm.široka rupa nezatrpana.Preko veće zapreke ili na mjesto visokog nasipa gradi se most naročitog gornjeg stroja /Kubelkin mort,isp.sl.12 /.Stupište ili jaram gradi se na poznat način cestovnih mostova ili na način poslije opisan kod nadzemnih točila.

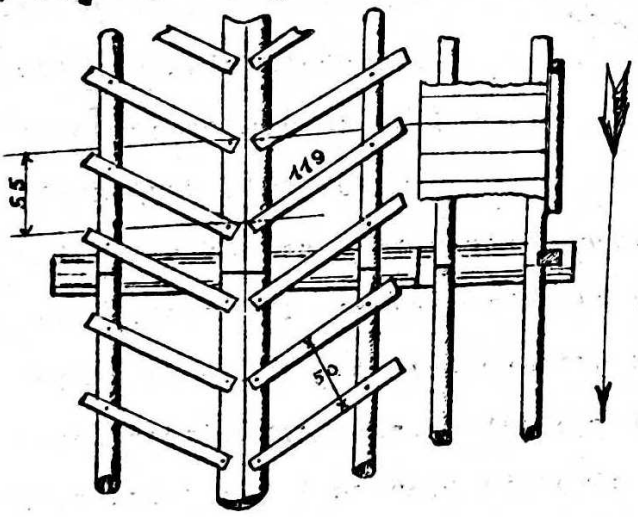
Gornji stroj,u djelu namijenjenu transportu,sastoji od koso položenih pragova,rebara,usadjenih u naročito izradjenu jaku gredu - hrptenicu,s jednog kraja ,a podbočenih oblim uzdužnim podvalama s dru-

goga kraja.Osim toga pribiti su pragovi još i sa drvenim klincima na podloge /željezni čavao ne može se upotrijebiti na neposrednoj podlozi klizanja u opće /.Do ovog dijela montiran je nogostup,poslužni most,u svrhu obilaženja,nadzora transporta i t.d.

a/ Poprečan profil:



b/ Pogled odozgo:



Slika 13.

Zbog znatnog uzdužnog nagiba,pa dinamičkih udaraca,smještaju se jarmovi na blizu /4 do 6 m./,a treba ih ukrutiti još križevima i kliještima i u uzdužnom smjeru pruge.Preko manjih zapreka na mjesto ovakovog mosta,pak na strmim mjestima,a i na nezgodnom tlu za ugradbu pragova u opće,jednako ili još bolje može poslužiti i <u>drveno točilo</u>,naročito kod suhih ljetnih putoklizina.Uzsvako premoštenje potreban je i poslužni most.

d/ <u>Linija putoklizine.</u>

Rekli smo,svaku putoklizinu karakterišu tri glavna njezina dijela: početni,srednji i završni.Za početni dio treba odabrati prikladno mjesto,do kojeg se lako doprema roba sa sviju strana tako,da putoklizina otvara što veći dio šume.Mjesto treba da je dovoljno prostrano i podesno za slaganje drva,odredjenog za transport.Ovo treba naime složiti u pravilne složajeve 5-6 m.daleko od ustiju klizine.Neuredno i breblizu dopremljeno drvo lako uteče samo kroz usta klizine.Izabrano mjesto neka nije prevelikog nagiba,je-r ni početni

dio,zapravo cca 30 m.dugačka usta,sa prelaznim vertikalnim lukom u srednji dio putoklizine,ne traži razmjerno veliki nagib /usta cca 5%,isp.sl.8 b,uzdužni profil početka putoklizine/.Što veći dio šume otvara početak klizine,to veći je njezin financijski efekat, a što bolje je uredjen taj dio,efikasnije se odvija promet na njoj.

Usta prelaze brzo u najgornji dio srednjeg dijela putoklizine. Ovaj treba da ima na svom početku najveći mogući nagib i to kod zimskih putoklizina ne manji od 20 do 30%

" suhih ljetnih putoklizina ne manji od 50 do 60%

" ovlaženih ljetnih putoklizina ne manji od 30 do 40%.

Prijelaz iz jednog nagiba u drugi ublažuje se vertikalnom kružnicom polumjera ne manjeg od 200 m.ni u kojem slučaju na otvorenoj pruzi. Mijena nagiba općenito ne smeta klizanju,tek lom nagiba zajedno sa vertikalnom prelaznom krivuljom treba da leži u pravcu,a nipošto ne u zavijutku klizine.Vertikalna prelazna krivulja može biti konveksna /manji nagib prelazi u veći/ili konkavna prema gore /veći nagib prelazi u manji/.U prvom slučaju,ako je prelaz preoštar,drvo odleti u smjeru tangente,pa opet pada na tlo,eventualno i izvan klizine,u drugom slučaju,opet ako je prelaz preoštar,stražnji dio drva izdiže se 2-3 m.visoko u zrak,pa opet pada na tlo,zbog česa opet nastaju smetnje u prometu.Vertikalna krivulja konkavna prema gore zahtjeva vrlo solidnu podlogu,jer je izvrgnuta jačim dinamičkim udarcima. Medju dvjema vertikalnim krivuljama protivnog smjera treba da leži pravac barem 20 m.dugačak /zavisi o dužini drva,koje se transportira/.

Linija srednjeg dijela neka je što više ispružena.Idealan uzdužan profil tog dijela bila bi pravilna krivulja najvećeg nagiba na početku, pa sve manjeg do horizontale na kraju.Idealna linija tog dijela u situaciji bila bi pak pravac.Zbog terenskih prilika ni jedno ni drugo općenito ne može se postići.Praktički neće se moći izbjeći kao nepravilnostima u nagibu tako ni mijenama smjera u situaciji.U tom pogledu važe ova empirička pravila:

Nagib zavisi o karakteru klizina,o konstrukciji podloge,pa o obliku i vrsti drva,koje se otprema.Ljetne putoklizine zahtjevaju veći nagib ili bolje reći:veću relativnu visinsku razliku izmedju početka i kra-

ja,od zimske.Lako i kratko drvo traži veći nagib od teškog i dugog. Najpovoljniji nagib iznosi,na približno ravnom potezu,kod otpreme okruglog dugog drva i deblovine /Dr.Glatz/:

kod suhe ljetne putoklizine 35 do 50%
-"- vlažne ljetne -"- 15 do 30%
-"- osniježene zimske-"- 10 do 20%
-"- oledjene -"- -"- 4 do 10%

Kako će se razdijeliti taj nagib duž linije srednjeg dijela klizine zavisi o terenskim prilikama.Na dužem potezu nagib ne smije odmicati mnogo od potrebnog.Veći otstupi mogu se upotrijebiti samo u pravcu,na kraćem potezu.U zavijutcima nagib može biti nešto veći zbog kočnog djelovanja zavijutka.Općenito ipak vrijedi pravilo: Prevelik nagib nije toliko zlo,koliko premalen.Prevelika brzina čini manje štete prometu i putoklizini, nego zbog premalene brzine zaostalo drvo.Postoje naime još i sredstva za kočenje prevelikih brzina,dok je premalen nagib često bio uzrok,da se je morala napustiti već dogotovljena putoklizina.Što je pak linija strmija to manje neka odmiče od pravca.-

Neminovno potrebna mijena smjera linije u situaciji neka bude što blaža.Oštre krivulje vrlo koče drvo u klizanju.Zahtjevaju znatnije proširenje i nadvišenje,te otporniju podlogu.To su redovno mjesta, na kojima ostaje drvo ležati.Linija srednjeg dijela putoklizine ne podnosi oštre krivulje zbog veće brzine,s kojom drvo prolazi krozn nju.Upotrijebiti se mogu samo lukovi većeg polumjera i to sa prelaznim krivuljama.Nije li luk kružnice posredno priključen na pravac sa prelaznom krivuljom,nastupa centrifugalna sila odmah u potpunom iznosu na početku luka,te uzrokuje snažan udarac.Prelazna krivulja neka je to duža ,što je polumjer luka kružnice manji, a najmanje neka iznosi 20 do 30 m.Promet na putoklizini odvija se samo u jednom smjeru,Zbog toga može izostati prelazna krivulja na donjem kraju luka kružnice u nuždi.-

Najmanji polumjer krivosti u situaciji neka nije manji od 80 do 100m. a od 60 m.tek u nuždi.Kod otpreme samo kratkog drva može se još sniziti na 30 do 40 m.No bolje je urediti putoklizinu tako ,da se mo-

že upotrijebiti za sve sortimente bez razlike.Izmedju dvije krivulje suprotnog smjera treba umetnuti pravac barem 30 m.dugačak.U pravilu treba osnivati krivulje naravno što većih polumjera.Jer u krivulji blage krivosti klizi drvo gotovo jednako kao u pravcu.Prugu u blagoj krivulji nije potrebno proširiti,a i prelazne krivulje mogu izostati,ako je polumjer krivosti veći od 300 m.-

Nastojati treba,da bude linija cijelog srednjeg dijela putoklizine izvrgnuta što jednoličnijem utjecaju sunca i atmo-sferilija da se postigne što jednoličnija kliskost.Zbog toga treba tu liniju držati po mogućnosti jednolično visoko nad tlom,nešto više nego kod ostalih puteva /klonuti se dubokih usjeka/.Oštrije krivulje ipak ne valja stavljati na ovisoke nasipe,jer su za promet nezgodni.

Najvažniji dio svake putoklizine je posljednji sa stovarištem. Tu treba da se zaustavi iz srednjeg dijela raznom brzinom nadošlo drvo raznog oblika.Linija poprima u tom dijelu oblike,koji koče brzinu,dakle:oblik horizontalnog pravca ili pravca u protinagibu; oblik horizontalno ili u protunagibu položene krivulje znatnije krivosti;protukrivulje u kratkom razmaku;najčešće kombinaciju ovih oblika,već prema prilikama tla i putoklizine,da se drvo zaustavi na što kraćem potezu /isporedi sl.9/.U tu svrhu treba pronači zgodno i dovoljno prostrano tlo.Jer što je manje tlo podesno za liniju kočnih oblika,pa i za druge potrebne uredbe na stovarištu,to nesavršenije se odvija promet na stovarištu,a onda na putoklizini u opće.Oko završnog dijela putoklizine potreban je dovoljno velik prostor za sortiranje i slaganje nadošlog drva.Taj prostor neka se nalazi u blizini drugog kojeg izdašnijeg prometnog sredstva,kojim će se roba da-lje otpremati.Nastojati treba,da se smjer transporta putoklizne podudara sa smjerom transporta izdašnijeg sredstva,da netreba robu zakretati.Ne može li se to postići,neka linija završnog dijela putoklizine udara barem okomito na smjer transporta izdašnijeg sredstva. Da se spriječe nesreće,treba izmedju stovarišta i izdašnijeg transportnog sredstva ostaviti barem 20 m.široki sigurnosni pojas.Dužina stovarišta mjeri 80 do 100m.Ne može li se na toj dužini zaustaviti drvo,treba upotrijebiti naročite uredjaje za kočenje,jer je mani-

pulacija na predugačkom potezu nezgodna .-

l./ Predradnje i gradnja putoklizine.

Da se postigne valjana trasa putoklizine potrebno je poznavati tlo, koje dolazi u obzir,pa,osim prije rečenoga,još i mehaniku klizanja /vidi tačku 8/.Svako tlo nije zgodno za putoklizinu,ili za svaku vrst putoklizine.Jer ona treba da radi automatski.Prvi posao biće pronaći zgodno mjesto za stovarište,a onda za usta.Već prema razmaku i visinskoj razlici ovih mjesta moći će se prosuditi,koja vrst putoklizine dolazi u obzir,da li zimska osniježena ili oledjena,da li ljetna suha ili ovlažena.Oba mjesta spojit će se zatim sa na grubo iskolčenom najboljom linijom i pristupiti detaljnoj izradbi definitivne trase,ako smo se na taj način uvjerili,da terenske prilike ne iziskuju radnje ili uredjaje za putoklizinu s bilo kojeg razloga nepodesne.Konačnu trasu treba pak iskolčiti brižno i detaljno,ne samo horizontalne lukove sa prelaznim krivuljama nego i vertikalne,na lomu nagiba.Sve važnije tačke treba osigurati po strani,da se ne izgube prigodom izvedbe zemljoradnja.Operat treba da sadržaje točnu situaciju,uzdužan profil /redovno u istom mjerilu dužina i visina/,poprečne profile sa gornjim strojem,dokaznicu mjera i troškovnik.Razdioba masa otpada,jer su zemljoradnje neznatne.Suvišan materijal deponira se po strani,a potreban uzima sa strane,sa zgodnog najbližeg mjesta.Troškovi donjeg i gornjeg stroja,pa većih objekata iskazuju se zasebno.

Gradnja donjeg stroja odvija se po principima gradnje donjeg stroja puteva.Upotrijebiti valja najbolji materijal prema prilikama, naročito na mjestima,koja će biti izvrgnuta jačem dinamičkom utjecaju prometa.Donji stroj treba da ima tačno osnovani oblik,naročito niveletu.Zbog toga je stručan nadzor neminovan.

Izgradnjom gornjeg stroja započinje se,kad je donji stroj dovoljno slegnuo.Dobro je pričekati godinu dana.U to vrijeme nastale deformacije naravno treba najprije ispraviti.Zatim se polažu glavni pragovi,na ove pričvrste braniči,podmetnu ostali pragovi,razastre steljište,podbije i dobro nabije,izvedu stijene u krivuljama,pak sve

ostalo predvidjeno i potrebno.

Troškovi putoklizine vrlo su različiti.Relativno najskuplija je suha ljetna putoklizina,naročito na litičastom tlu.Najjeftinija je zimska putoklizina na povoljnom tlu jer se izradjuje u obliku žlijeba,zemljoradnje su dakle minimalne,a gornjeg stroja gotovo i nema.Medju ovim krajnostima variraju troškovi ostalih putoklizina.-

f./ Uzdržavanje putoklizina.

Uzdržavanje putoklizina iziskuje veću brigu nego uzdržavanje puteva, naročito obzirom na odvodnju.Zimska putoklizina lako se pretvori ljeti u bujicu.Zato treba još prije ljeta probiti žlijeb putoklizizine na više zgodnih mjesta,ugraditi otvorene propuste /dva na blizu položena praga/ na tim mjestima,da po strani odvode vodu iz žlijeba. Zimi,prije nego će putoklizina raditi,treba te pragove opet odstraniti,i žlijeb staviti u prijašnje besprijekorno stanje.Stalne propuste pa odvodne jarke treba redovno čistiti i za vrijeme prometa. Oštećene pragove i braniče naročito na izloženim mjestima treba za vremena ukloniti i zamjeniti novima.Braniči od arišovine traju 16--20 godina,a pragovi od jelovine,smrekovine ili bukovine 8-10 godina. Na ljetnoj klizini propadaju pragovi mnogo brže nego na zimskoj. Braniči u pravcu,pa na unutarnjoj strani krivulje slabo su naprezani, odgovaraju još i u napola trulom stanju.Gornji stroj u krivulji rado se deformira pod prometom.Braniči budu potisnuti,a pragovi ubijeni u tlo.Ovakove mane treba brzo ukloniti.Da se pak može deformirana klizina na povoljnom mjestu uspostaviti u stanje i oblik kako je zasnovana bila,bezuvjetno je potrebno postaviti,osigurati,pa uzdržavati stalne tačke izvan putoklizine u svrsi shodnim razmacima.-

g./ Odvijanje prometa na putoklizini.

Drvo treba dopremati do putoklizine već iz sječe u povoljnom položaju t.j. s debljim krajem sprijeda.Na tom kraju svako drvo treba zarubiti.Dužina i širina zaruba mjeri $z = 1/6 - 1/8\,d$, ako d označuje promjer drva na tom mjestu.Osim toga treba zaobliti prelaz iz zaruba u puni prosjek promjera d .Zarub je neminovno potreban,jer

samo s pomoću njega prelazi drvo sjednog praga na drugi,naročito u krivulji,pa preko drugih manjih zapr eka.Ljetnu klizinu dovoljno je tek očistiti prije od puštanja drva,ako je inače u redu.Zimsku putoklizinu treba tek staviti u spremno stanje.Najprije treba ukloniti snijeg iz žlijeba ili sa pruge toliko,da se tek ne vide pragovi.Onda se povlači klizinom teško deblo,s debljim krajem sprijeda,koje izradi te izgladi tipičan polukružan profil u pravcu,a polueliptičan u krivulji.Na taj način zbije se snijeg na podlozi,stvori se glatka površina,kojom klizi drvo isprva polako,pa onda sve brže do normalnog tempa.Već prema veličini sortimenta upuštavanjem drva zaposleno je3-8 momaka.Na otvorenoj pruzi postavljeni su pazitelji u razmacima vida ili sluha,koji promatraju klizanje.Kod opažene neurednosti obustave promet,dajući ugovoreni znak momčadi na početku klizine,jedan preko drugoga.Zaostalo drvo potjeraju dalje,ako mogu,ili ga izbace iz klizine.Momčad na kraju klizine zaposlena je sortiranjem,slaganjem i daljnom otpremom nadošlog drva.Na dobroj putoklizini mogu kliziti i više komada istog sortimenta,istodobno,u kratkim razmacima. Drugi ili slijedeći komad može se otpustiti tek ali,kad je prvi dovoljno odmakao sigurno klizući normalnim tempom.Najsigurnije klizi drvo sa brzinom od 20-30 m./sec.Tako se odvija i promet najbrže. No dobra putoklizina podnosi i brzinu od 40 m./sec. bez štetnih posljedica.Klizine vrlo zavise o vremenu.Suha ljetna putoklizina može se upotrijebiti na pr. tek u suhim sunčanim danima.Nješto manje je ostjetljiva ljetna vlažna putoklizina.Upotrebljava se redovno po zlu vremenu.Zato se i promet na njoj odvija polaganije.Ne manje zavisi o vremenu zimska klizina.

Efekat transporta zavisi i o sortimentu.Svako drvo treba da je oslobodjeno od granja i oguljeno.Tek bukovina se ne guli.Svježe posječeno drvo ne smije se otpremati jer je odviše klisko.Crnogorica klizi mirnije od bjelogorice.Najbrže klizi kratak i težak komad. Najvećma napreže klizinu 10-12 m.dugačak trupac.Gorivo drvo otpušta se u obliku što dužih oblica.Najveći efekat se postizava pak ako se otpremaju čitava stabla,što je ali jednino moguće,ako su ravna /naravno bez granja/.

Na 2 km.dugačkom potezu može se otpremiti dnevno coa 100 šumskih metara drva sa minimalnim troškom.Efekat transporta na putoklizini je dakle vrlo povoljan.

Kod otpreme drva klizinama sviju vrsti lako dolazi do nesreće.Tako i u ovom slučaju i ako možda u najmanjoj mjeri.Otpušteno drvo klizi,kako smo vidjeli,velikom brzinom;budući je uz to i redovno omašno,posjeduje veliku kinetičku energiju.Zateče li što živo na svom putu/na pr.zalutalo blago/ sigurna je nesreća.Zbog toga križanja sa putevima sviju vrsti,u koliko se nijesu mogla mimoići, treba providiti brkljama.Kad putoklizina ne radi,usta treba ograditi i pristup do njih zatvoriti.Kod odvijanja transporta treba zaposliti tek fizički i duševno potpuno zdravu, pa izvježbanu momčad.Alkoholičari,lakoumni,objesni i nemarni momci su isključeni.Momčad treba da je oboružana valjano izradjenim drvarskim orudjem iz odličnog materijala.Iz lošeg materijala ili loše izradjeno orudje,naročito capin,čaklja/Griesbeil/,okretaljka / Wendehacken/,krampiž /Fusseisen/ i t.d.,zataji li u odsudnom času,lako prouzrokuje nesreću.Momčad treba da pozna i da se uklanja tako zvanim pogibeljnim zonama.Takva su mjesta. uz donju vanjsku stranu klizine u krivulji,uz lom nagiba, pa uz sva loše izradjena,trošna ili deformirana mjesta.Nesreća lako nastaje i zbog promjene vremena,jer se sa vremenom mijenja i trenje, a nastaju često još i smetnje vida i sluha /magla,bučan vjetar,oluja i t.d./.Momčad treba da je organizirana,da se strogo drži izdanih propisa,da točno pozna ugovorene signale,pogibeljne zone i red rada. Nezvanima treba zabraniti pristup do klizine,naročito u pogibeljne zone.A i zvani mogu stupiti u samu klizinu,tek kad ne radi,a izaći iz nje što prije.Kod nagle promjene vremena najbolje je obustaviti promet.Za vrijeme rada potrebna je priručna apoteka.

h/ Zaključak.

Sistematski počeli su graditi putoklizinu u Schwarzwaldu /u samom kotaru Wolfach izgradjeno je preko 120 km.putoklizina raznih vrsti/.Odavle proširila se i po svim alpskim pa i drugim gorskim /na pr. karpatskim/krajevima i to zbog očitih svojih prednosti.

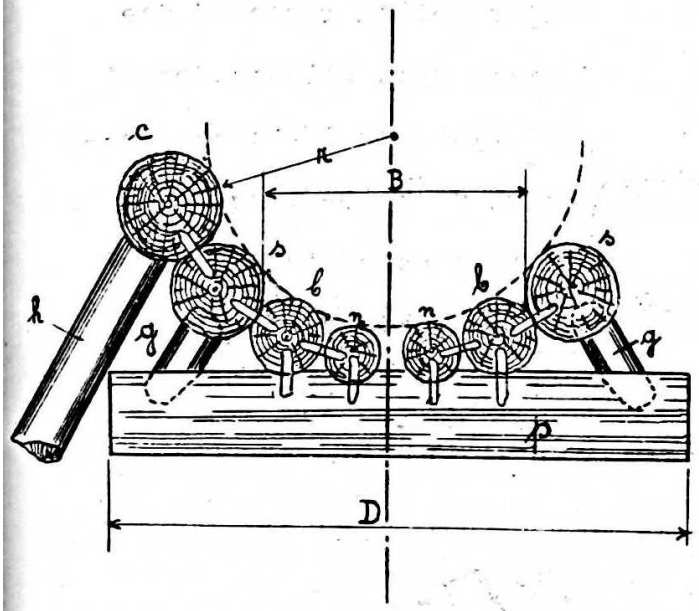
Putoklizina trajno otvara šumu u cijelom opsegu,kojim prolazi,jer se svako zgodno mjesto na njoj ili kraj nje može preurediti i upotrijebiti kao"usta" na početku,po potrebi.Traži i podnosi mnogo veći nagib nego cesta,a gradi se mnogo jeftinije od nje.Jeftinija je i od poslije opisanih drvenih i sličnih točila.Može se razgraniti, konbinirati sa točilima,izvadjati u obliku vršne obratnice po potrebi.Njezina kliskost,dakle i sposobnost rada, može se vještački regulirati,u prilično širokim granicama,sa sredstvima i uredbama,koje se opisuju poslije kod nadzemnog točila.Postiže relativno najveću dužinu transporta uz najmanji kalo,tako,da je stručnjaci smatraju medju klizinama najsavršenijim transportnim sredstvom.Najčešće dužine putoklizina leže ispod 3 km.sa neprekinutim prometom.Prekida li se promet t.j. nanižu li se dvije ili više putoklizina jedna iza druge,dužina transporta može segnuti do 4 dapače do 6 km.Na mjestima prekidanja treba urediti ali medjustanice,medjustovarišta, a ne smeta-ni-odvoj prometa iziskuje zavedenje telefona.Zimske klizine redovno su jeftinije i postižu veću dužinu transporta /do 3 km. bez prekidanja prometa/ od ljetnih /do 1 km.bez prekidanja prometa/ zbog manje promjenljivosti kliskosti /snijeg ili led/ i veće nezavisnosti o vremenu.I ako je putoklizina priznato i potrebno šumsko prometno sredstvo,ne trebaju ipak forsirati tamo,gdje joj mjesta nema.To vrijedi napose za suhu ljetnu klizinu,koja traži najveći nagib i zbog toga se nalazi redovno na litičastom gorskom tlu.Takova klizina iziskuje mnogo drva,skupo se gradi,a njezina je sposobnost rada vrlo ograničena nestalnim vremenskim prilikama.-

7./ N a d z e m n o t o č i l o .

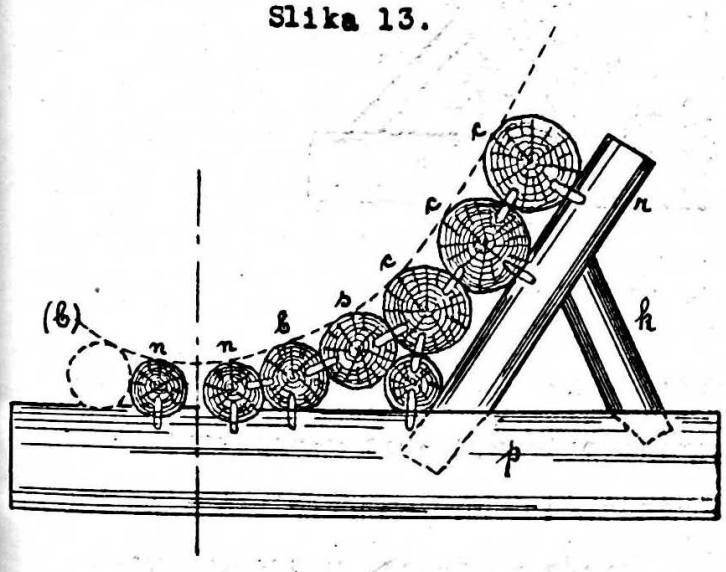
a/ Općenito. Putoklizina radi u najvećem svom dijelu još na zemlji. Daljne klizine,koje opisujemo,ostavljaju tlo gotovo netaknuto.One se izdižu nad tlo.Gornji stroj,svrsi shodnog oblika,izradjen je potpuno od drva,tek u novije doba gdjekad i od metala /Amerika/.Počiva na donjem stroju,vještački izradjenom takodjer iz drva /u pravilu/, djelomično i od kamena,gdjekad i drugačije /Amerika/.Donji stroj dira doduše tlo,ali tek u većim razmacima,u najnužnijoj mjeri,u

obliku podvala,jarmova,stupišta i t.d.

Gornji stroj. Izradjuje se iz oguljenih /barem na strani prometa/ oblica,6-8 m. dugačkih u pravcu,a oca 4 m. dugačkih u krivulji, u obliku žlijeba /riža/.Oblice se sudaruju u istom profilu.Žlijeb je dakle sastavljen od više,4-8 m. dugačkih dijelova.U svakom dijelu sve su oblice jednako duge,a svaki se takav dio zove odsjek /Fach/. Žlijeb je savit u Europi više manje u luk kružnice. U Americi radje daju žlijebu oblik slova V. Već prema sortimentu,koji će se otpremati,izgradjen je žlijeb od više ili manje, jačih ili slabijih oblica. Nadalje utječe još na njegove dimenzije i oblik karakter točila,da li je glavno ili sporedno,pa položaj, nalazi li se u pravcu ili u krivulji.



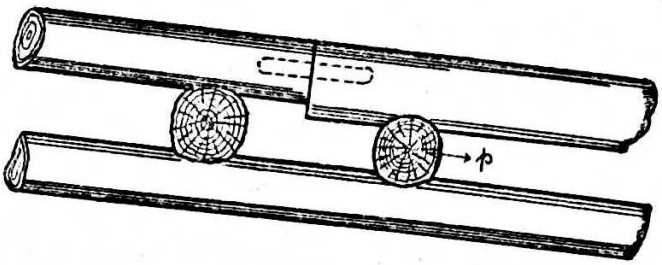
Slika 13.

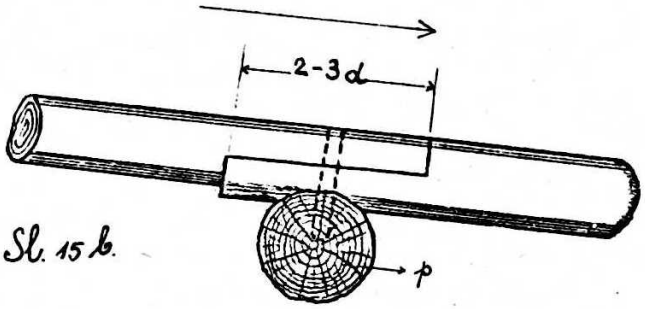


Slika 14.

Slabije točilo u pravcu, na mjestima malenih brzina, za otpremu slabijih sortimenata,sastoji se tek od 4 oblica: dvaju"nosača"/n sl.13/ u sredini žlijeba,pa dvaju "braniča"/ b/jedan s lijeve a drugi s desne strane nosača. Na strmom potezu,ili kod otpreme jačih sortimenata treba još "osedlati"takav žlijeb, t.j.dodati još po jednu oblicu t.zv."sedlice"sa svake strane /s sl.13/.U krivulji ne dostaje ni ovako montira-

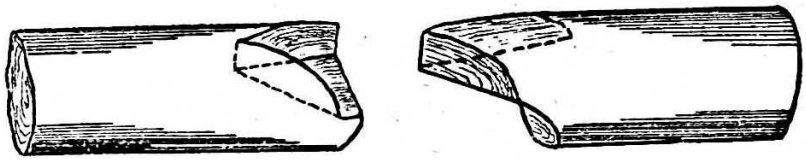
Sl. 15 a.





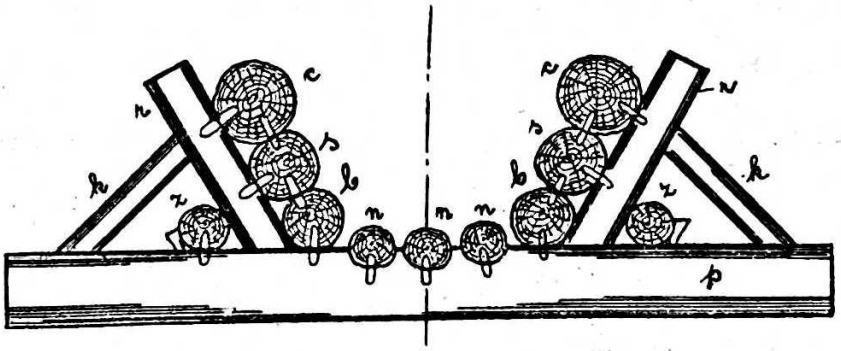
Sl. 15 b.

Sl. 15 c.



ni žlijeb.Na konveksnoj strani /krivulje/ treba,osim već rečenog,još jedna oblica "nasedlica"/c sl.13/ U oštrim krivuljama broj nasedlica /c/ se povećaje na 2 ili 3,no zato mogu otpasti na suprotnoj strani sedlice /s/eventualno i braniči / b sl.14/.Promjer oblica raste od dna prama vrhu žlijeba.Nosači /n/jaki su 10-15 cm.,braniči /b/ 13-20 cm.,sedlice /s/ i nasedlice /c/20-30 cm.u promjeru.

Slika 15.



Slika 16.

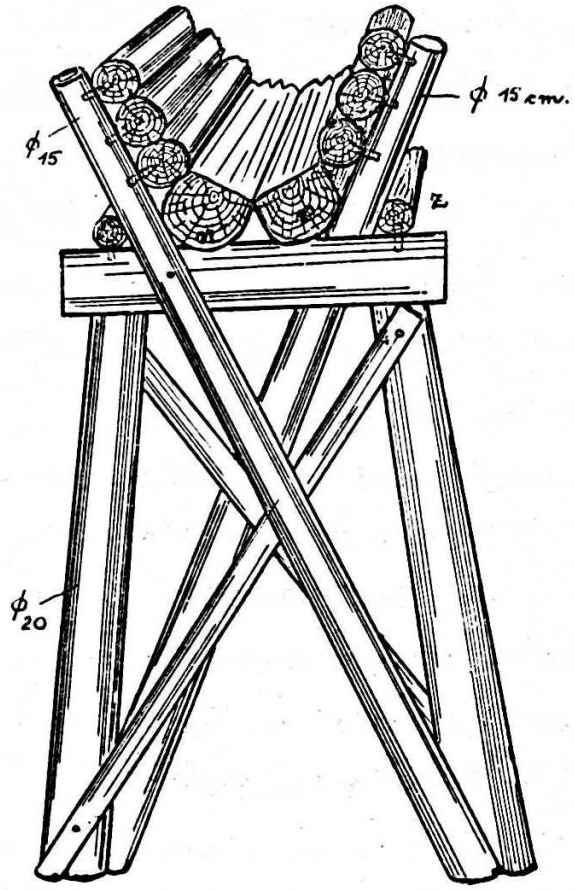
Izmedju sedlica mjerena širina žlijeba iznosi B= 75-100 cm.a dubina 20-30 cm.,zavisi pak,kao i promjer oblica,o sortimentu,koji se otprema.Svaki odsjek montiran je barem na dvije /na krajevima,na sudaru/po potrebi i na tri podvale /treća se nalazi u sredini otsjeka/.To su 25-30 cm.jake,1-2 m. dugačke oblice,koje leže ili neposredno na zemlji,ili su ujedno i glavnjice stupišta /jarma/.Za nosače /n/izradjeni su naročiti ležaji,t.j.istesane su na podvalama 5-10 cm.duboke rupe odgovarajućeg oblika.Braniči /b/su samo po-

loženi na podvalu,a pričvršćeni na nju,isto kao i nosači sa klincima,redovno izradjenima od arišovine.Medju nosačima,pa braničima i nosačima treba ostaviti primjerno široke reške,kroz koje će propadati sakupljeno sitno smeće u žlijebu.Sedlice /s/ podržavaju u višem položaju naročite "nožice" /g/,učepljene u nje,pa u podvalu, dok nasedlice /c/podržavaju duže "noge" /h sl.13/,koje sižu do tla, ili " ručice" /r sl.14/ sa"kosnicama" /k/,koje se upiru opet u podvalu.Nasedlice upiru se još i o sedlice,ove opet o braniče,s kojima ih vežu na mjestu doticanja utjerani drveni klinci.-

Oblice dvaju susjednih otsjeka sudaruju se na razne načine. Sl.15 a/predočuje "slobodan sudar". Oblice se tupo sudaraju,a spojene su medjusobno sa 8 cm. jakim,30 cm.dugačkim,upuštenim drvenim klincem.Takav sudar iziskuje ali zasebnu podvalu za svaki kraj sudarenih otsjeka.Sl.15 b/ predočuje "podložen sudar". Oblice su spojene na preklop,pa učvršćene drvenim klincem.Najobičniji i za drveno točilo tipičan "podložen sudar" predočuje sl.15 c .Naročitom sjekiricom izradi se na kraju jedne oblice pero,a na kraju druge oblice odgovarajući šip,jedno i drugo predočenog naročitog oblika.Na svakom sudaru tanji kraj oblice leži na donjoj strani,a ploha izvrgnuta prometu treba da je potpuno neprekinuta i zagladjena.

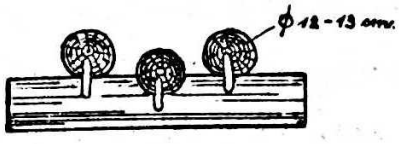
Težak tip gornjeg stroja predočuje sl.16,a služi za otpremu teškog drva,deblovine,trupaca i t.d. /tirolska riža/.Podvala /p/ je 3,5 m.dugačka,45-50 cm. jaka u promjeru.Nosači /n/,dva do tri na broju su 25 cm.jaki.Braniči /b/,sedlice /s/i nasedlice /c/mjere pak u promjeru 35-40 cm.Najprije se montiraju nosači /n/i braniči /b/.Zatim se položi oblica z i učvrsti u označenom položaju sa drvenim klinovima.Potom se izrade u podvali 20 cm.duboke rupe, u koje se utjeraju 15 cm.jake ručice /r/.Na taj način budu braniči i nosači fiksirani u željenom položaju.Konačno se podupru još ručice sa kosnicama k,pa montiraju sedlice i nasedlice.Ručice se izradjuju iz sušaca /Durlingholz/.Ovako je montiran gornji stroj na glavnim podvalama /na kraju otsjeka/.Na srednjim podvalama namjesto sa ručicama poduprte su sedlice i nasedlice sa nožicama.

Slika 17.predočuje amerikanski gornji stroj,jakoga tipa. Riža je 76 cm.u vrhu široka, 56 cm.duboka,a imade oblik slova V u profilu.Nosači u dnu su jači /20-30 cm./nego oblice u stijenama žlijeba /12-13 cm./. Budući su pak pritesani sa gornje strane i položeni tako,da su istesane plohe nagnute jedna prema drugoj u nagibu od cca 1 : 3,to je trenje zacijelo veće kod ovog tipa gornjeg stroja,nego kod prije opisanih. Zbog toga,čini se,ovaj gornji stroj brže propada od mehaničkog trošenja pod prometom,nego oni sa oblim nosačima.Ručice, koje podržavaju stijene žlijeba,sižu do tla,a jer su povezane i sa jarmom,mnogo doprinose,da je ovako izradjeno točilo inače vrlo dobro ukrućeno i stabilno.



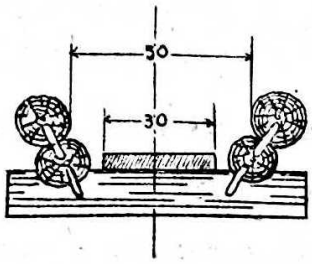
Slika 17.

Gornji stroj sporednih točila,udešen za transport lakih sortimenata,imade jednostavan oblik.Ako je linija povoljna sastoji često tek od 3 oblica /sl.18/.Ili je izradjen na način predočen na sl.19 sa jakom daskom kao nosačem.Na kratkim potezima često nije nego od daseka /jedna u dnu,a dvije po strani/zbiti žlijeb.

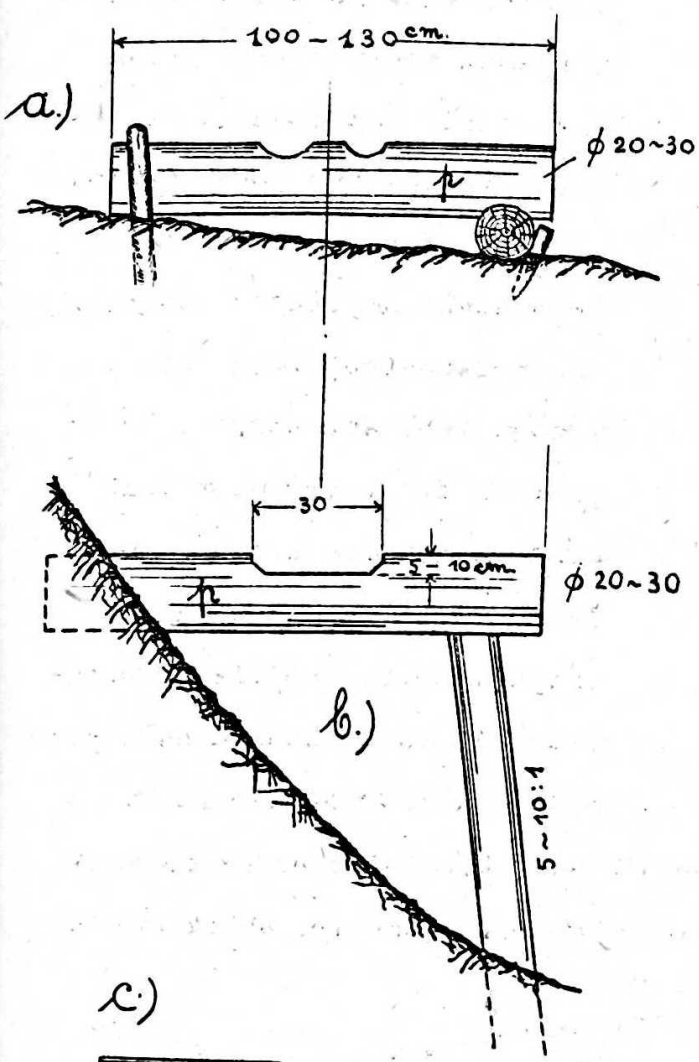


Slika 18.

U Americi,u novije doba izradjuju gornji stroj takodjer i od željeznog lima i to u obliku otvorenog /polukružnog/žlijeba,



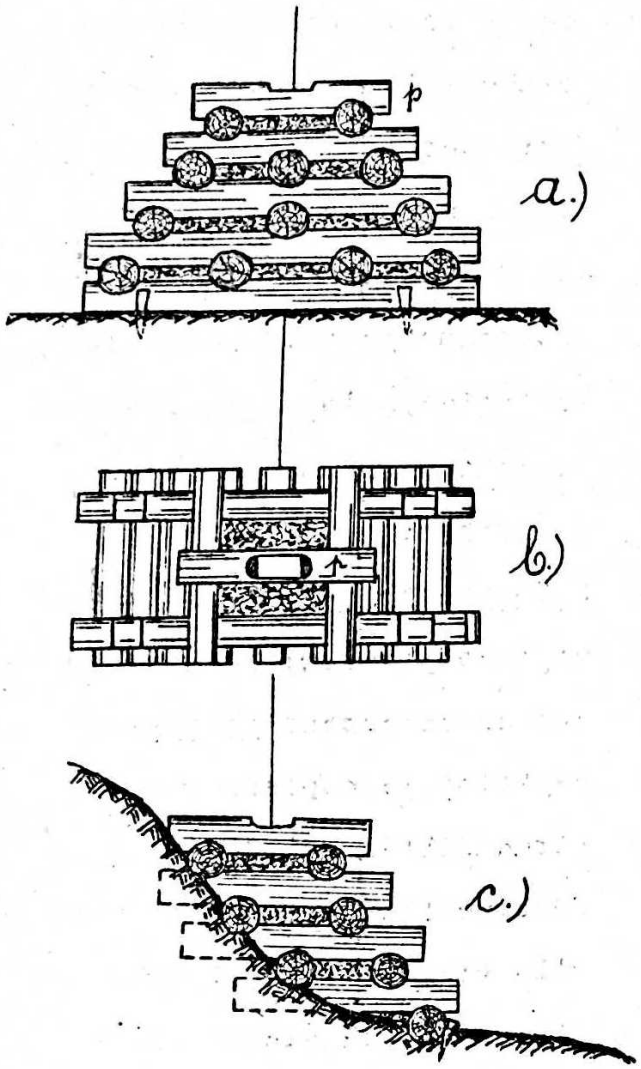
Slika 19.



Slika 20.

koji je po stranama pričvršćen i ovješen na drvene nosaće ili u obliku gotovo zatvorenog žlijeba /puna kružnica/ovješenog na užetu od željeznih žica.Ovake konstrukcije zgodne su,jer su trajne,a lako se prenose sa jednog mjesta na drugo, po potrebi.-

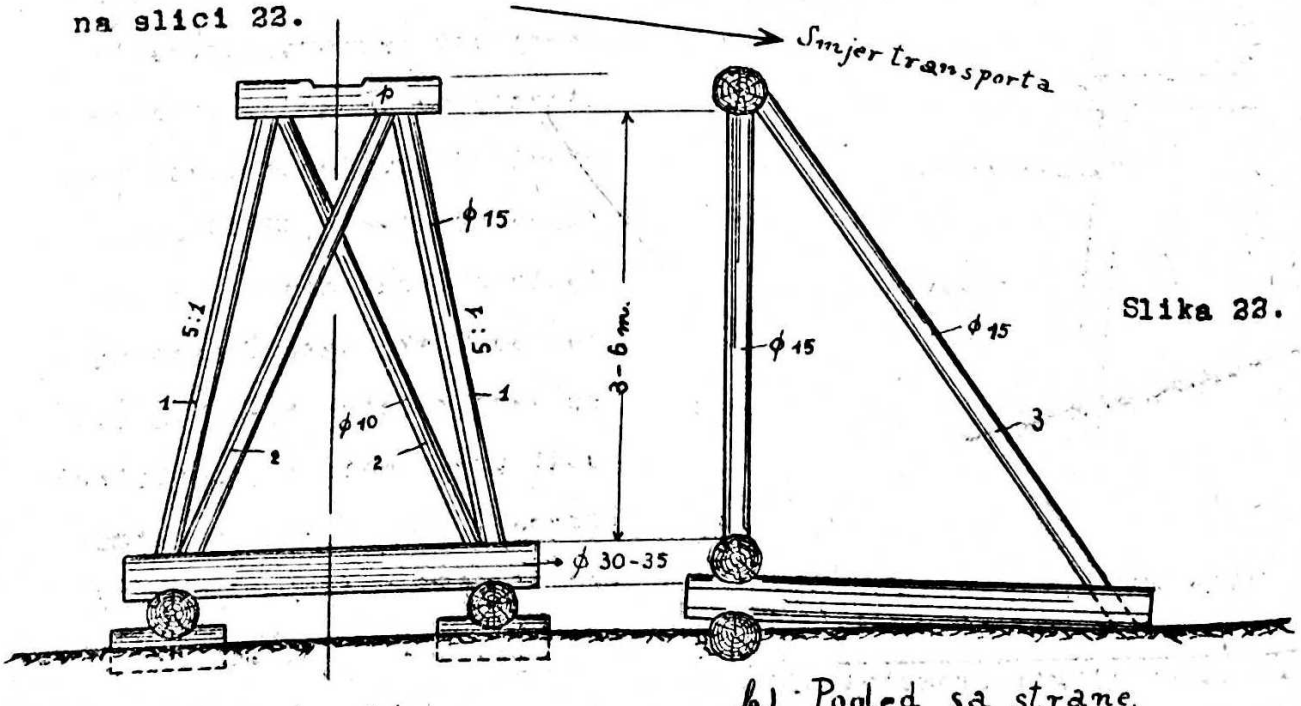
C/Donji stroj. Najjednostavniji donji stroj je na tlo zgodno smještena podvala, na kojoj je neposredno montiran žlijeb /sl.20a/. Redovno leži ali linija točila previsoko,da bi samo podvala dostajala.Do tri metra visine mogu poslužiti u takovom slučaju jarmovi, izradjeni od drva prema /sl.20b i c/.Do iste visine, na-mjesto jarmova,upotrebljavaju se i sanduci,izgradjeni od oguljenih,inače ali neobradjenih,25-30 cm. jakih oblica,zapunjeni kamenjem.Niski takovi sanduci su vertikalnih stijena,a visoki prošireni su jednolično prema dnu u smjeru okomitom na smjer transporta /sl.21/, ili još i u samom smjeru



Slika 21.

transporta. Sa podvalom /p/ paralelne oblice čine glavne stijene sanduka, one pak poprijeko položene nijesu nego klišta, koja podržavaju obje stijene u odredjenom položaju. Razmak kliješta mjeri 70-100 cm. Na izdjelanim ležajima sve su oblice medjusobno povezane još i sa drvenim klinoima. Sanduk je vrlo stabilan, lako se postavlja i na kamenito tlo, u koje se ne mogu zabijati stupovi. Dobar je i na tlu, izvrgnutom vodi. Lako se montiraju na nj po dvije podvale, mogu se dakle spajati oblice točila po principu slobodnog sudara na njemu. Slika 21 c/predočuje polovičan takav sanduk, prislonjen na obronak.

Viši jarmovi od 3 m., pa do 6m. visine, poprimaju oblik predočen na slici 22.



Slika 22.

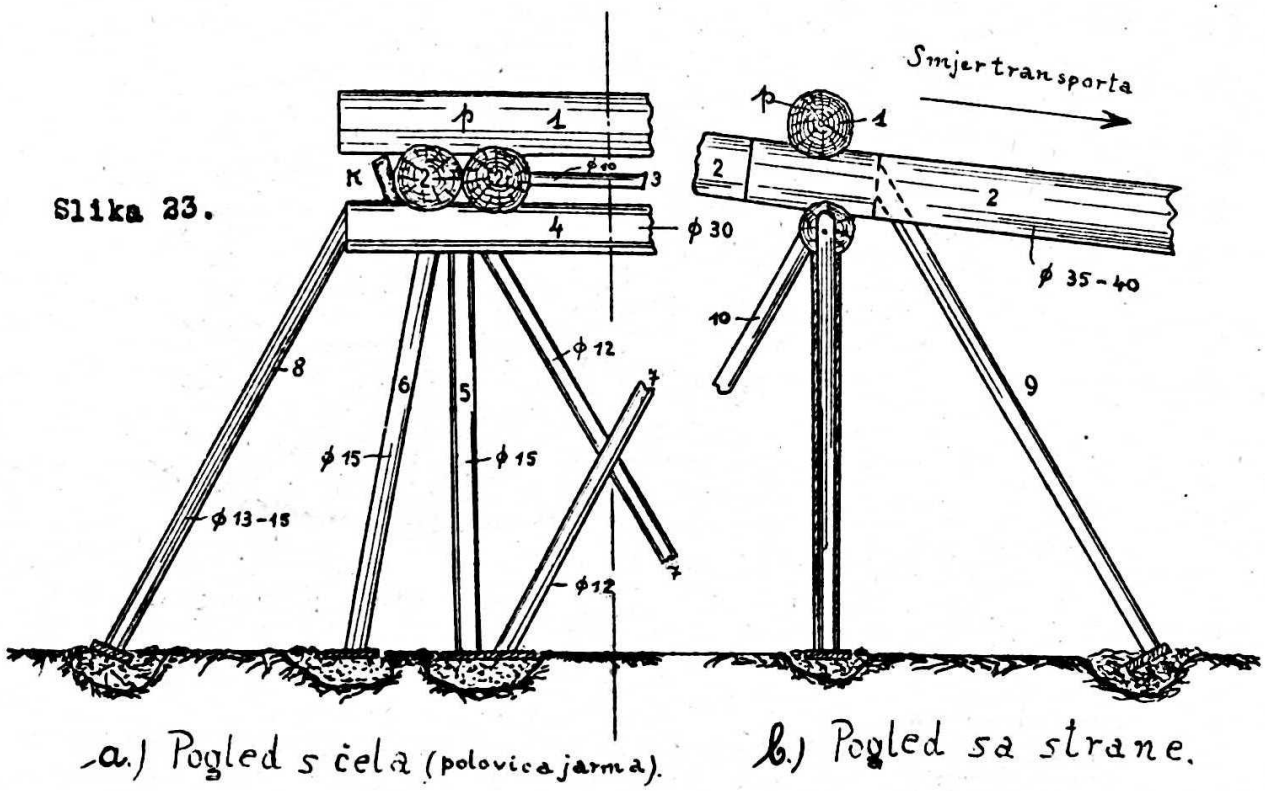
a.) Pogled u čelo.

b.) Pogled sa strane.

Općenito razlikuju se "glavni jarmovi" t.j.oni ispod sudara dvaju "otsjeka"od sporednih,smještenih medju glavnima.Prvi su čvršće i bolje ukrućeni,a drugi manje.Spomenuta slika 22 predočuje glavni jaram.Podvala točila /1/,ujedno i glavnjica jarma,leži na stupovima /1/,ukrućena je u poprečnom smjeru još sa križevima /2/,pa sa kosnicama /3/u smjeru transporta.Kod sporednih jarmova mogu izostati kosnice a i križevi,naročito na mjestima linije blagog nagiba,koja nijesu ni inače izvrgnuta jačim udarcima prometa.Opisani način ukrućenja glavnoga jarma potreban je i zbog toga,što stupovi, križevi i kosnice nijesu zabite,nego su prosto poduprte o tlo preko spretno podmetnutih jačih podnožnih oblica.-

Na odvojen način konstruiran je jaram teške tirolske riže sl.23.

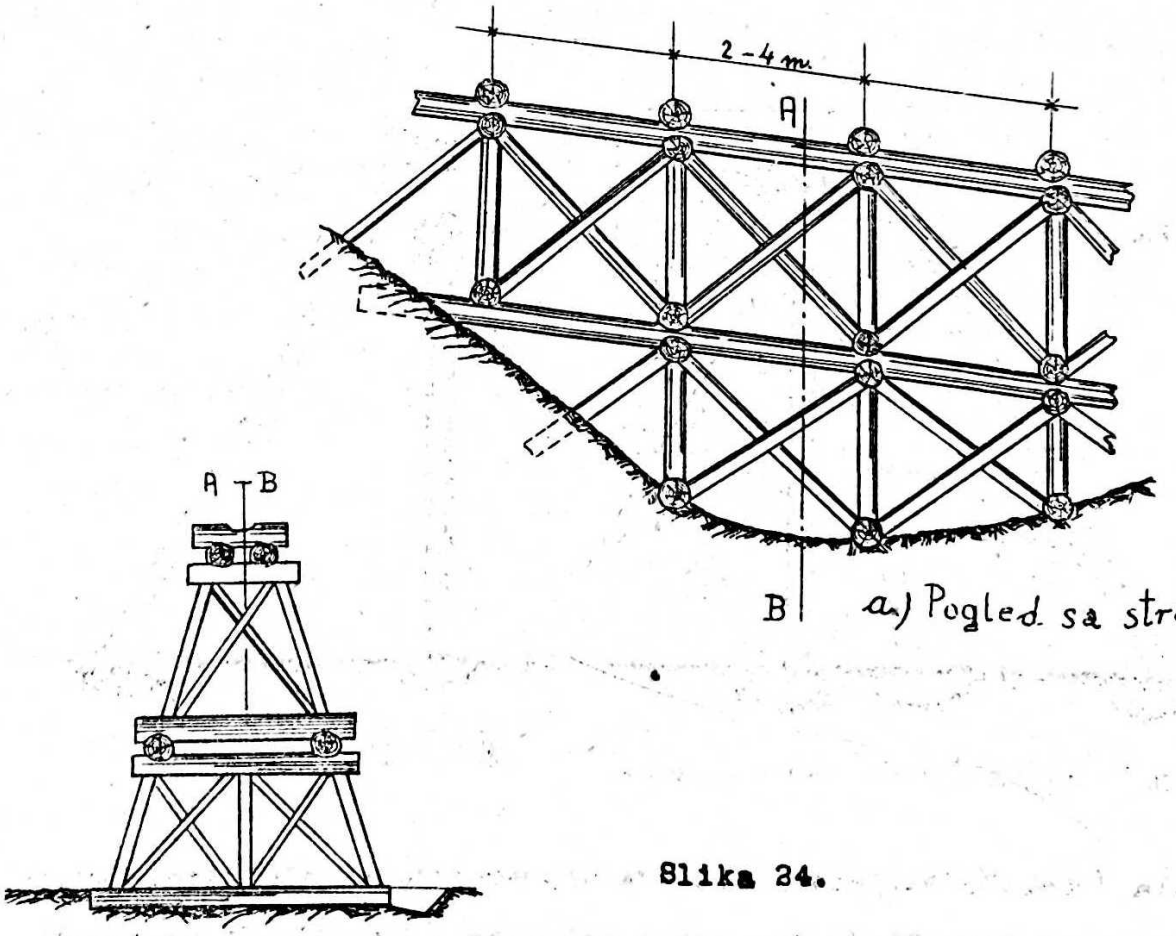
Slika 23.



Podvala /1sl.23/žlijeba ne počiva neposredno na jarmovima,nego na uzdužnim nasačima,35-40 cm. jakim oblicama /2 sl.23/.Ti se nosači ne sudaruju na 30 cm.jakoj glavnjici jarma /4/,nego su im krajevi položeni jedan do drugoga preko nje.Njihov položaj i razmak osiguravaju jaki drveni klinovi /K/,zatjerani u glavnjicu,pa razupirača 10 cm.jaka oblica /3/.Glavnjica glavnog jarma počiva na 15cm.jakim vertikalnim /5/ i kosim /6/ stupovima,a ukrućena je u poprečnom

smjeru još i sa 12 cm.jakim križevima /7/ pa kosnicama /8/. U uzdužnom smjeru,t.j.u smjeru transporta podupiru jaram,dotično krajeve nosača opet kosnice / 9 i 10/.-Nijedan dio jarma nije zabit u tlo,nego leži na zgodno podmetnutom kamenu ili na slučajnoj litici.Da sigurno sjedi,podbit je spretno sa drvenim klinom ili klinovima,koji se mogu utjerati i naknadno po potrebi.Sporedni jarmovi izradjeni su mnogo jednostavnije.Nemaju ni poprečnih ni uzdužnih kosnica,ni križeva ni glavnjica,a stupovi su učepljeni neposredno u nosače /2/.

Kod većih visina,na dužem potezu na mjesto nesuvislih jarmova, svrsi shodnije gradi se donji stroj kao suvisla cjelina,u obliku skele,na spratove,prema slici 24.-



a) Pogled sa strane.

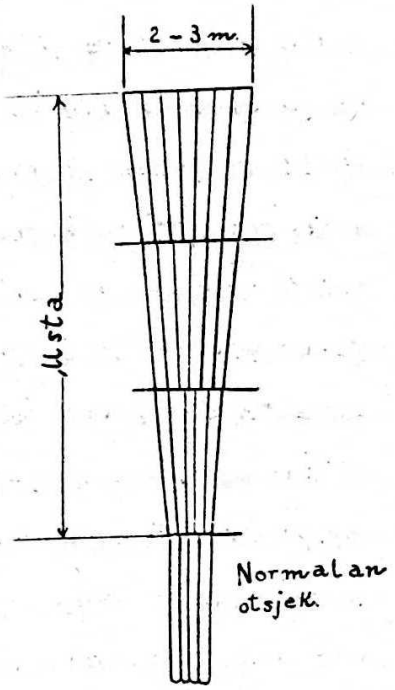
b.) Poprečni presjek.

Slika 24.

Donji stroj nadzemnog točila sastoji dakle u pravilu od podvala,kamenom ispunjenih sanduka,jarmova i skela.Jarmovi mogu biti glavni i sporedni.Zabiti su u tlo / isporedi i amerikansku rižu sl.17/ ili su tek zgodno poduprijeti o tlo.Ovo posljednje je obi-

čnije već i zbog litičastog karaktera gorskog tla,na kojem se takova točila grade.Svaki otsjek /Fach/ riže počiva redovno na tri uporišta.Prema tome mjeri razmak jarmova u pravilu 3-4 m.a po potrebi i manje /na pr. u krivuljama/.

d./ Ostali uredjaji gornjeg stroja. Analogno kao kod putoklizine, gornji stroj nadzemnog točila ima takodjer naročiti oblik na svom početku,pa na kraju."Usta" na početku izradjena su od oblica na način predočen na sl.25.Sastoje od 3-4 otsječka.Prvi je najširi,mjeri na ulazu 2-3 m.,ima najviše oblica,položenih na početku ravno,poput stola.Svaki dalnji otsječak sve je uži,ima sve manje oblica,položenih sve izrazitije u oblik žlijeba.Posljednji otsječak na kraju ima već tačan oblik normalnog žlijeba.Usta su položena u blagom nagibu i proširena,da se olakša odpuštanje drva.-

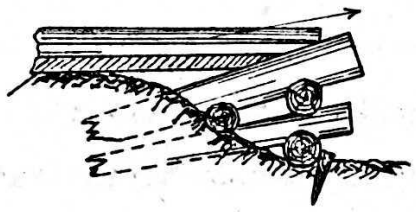


Slika 25.

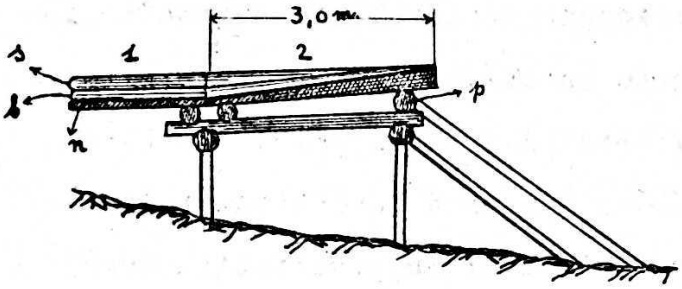
Završetak točila treba da leži po mogućnosti visoko nad stovarištem.Drvo izlazi iz točila raznom brzinom,te pada,opisujući parabolu,sad bliže sad dalje na tlo.Udaljenost i smjer ispadanja upravlja se vještački svrsi shodnim napravama /Wurf,bacalo/,da se spriječi gomilanje drva na istom mjestu.

U tu svrhu prislonjen je završetak točila,predočenog na slici 26, na 3-4 jakih oblica,koje se mogu držati ili spuštati u povoljnom protunagibu s pomoću podloženih podvala.

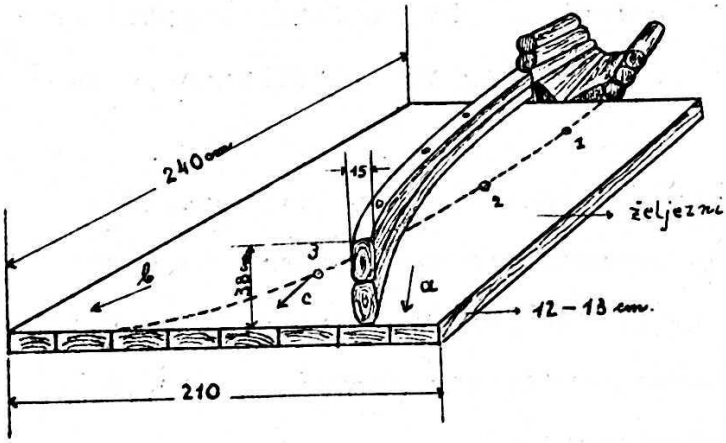
Nosači /n/ i braniči /b/ posljednjeg otsjeka točila,predočenog na slici 27,takodjer su položeni u protunagibu tako da svršavaju u istoj visini sa sedlicama /s/ na kraju.Osim toga može se još dizati ili spuštati taj otsjek pomicanjem podložene podvale na kraju ili upotrebom takovih podvala različitih promjera.-



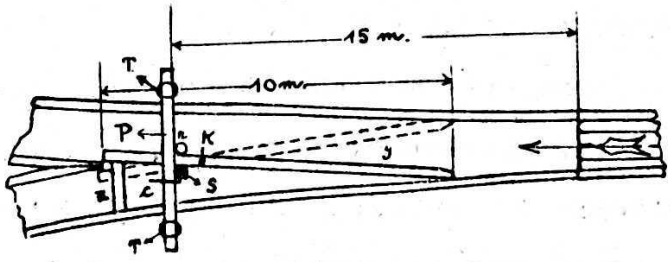
Slika 26.



Slika 27.



Slika 28.



Slika 29.

Slika 28 predočuje amerikansku konstrukciju bacala. Točilo završava pred horizontalnom ili u protunagibu dovoljno visoko nad stovarištem smještenom 240 cm. dugom i 210 cm. širokom pločom. Ta je ploča zbita od 12- do 13 cm. jakih platica, a na gornjoj je strani još i okovana sa cca 3mm. jakom pločom od željeznog lima. Na toj ploči nalazi se u luk savinuta stijena 38 cm. visoka, 15 cm. široka, a sastoji od dvaju zgodno obradjenih balvana, koji su na konkavnoj strani još i okovani sa 3 x 80 mm. jakim željeznim šinjama. Ta stijena priključi se sa jednim krajem uz jednu stijenu točila, a s drugim krajem položi se na ploču tako, da skreće drvo iz točila jedamput u smjeru *a*, a drugi put priključena uz drugu stijenu točila u smjeru *b*. U jednom ili drugom položaju fiksirana je ta stijena na ploči s pomoću tri jaka željezna klina provučena kroz izvrtane

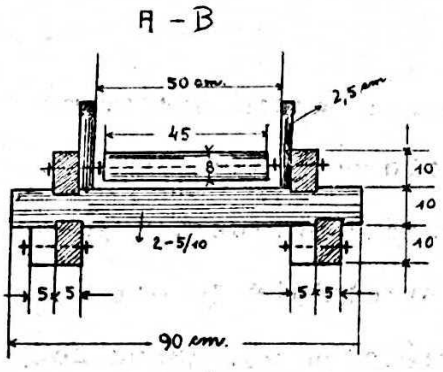
rupe u balvanima i u ploči.Skine li se stijena sa ploče točilo izbacuje drvo još i u trećem smjeru c.

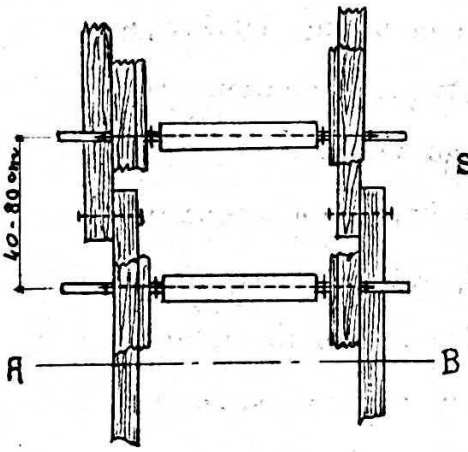
Gdjekad treba sortirati drvo i skladati u raznim djelovima stovarišta.U tom slučaju razgranjuje se točilo na kraju u više ogranaka,s pomoću skretaljki.Slika 39.predočuje konstrukciju jedne od raznih mogućih takovih skretaljki.Jezik skretaljke je drvena stijena,izradjena i zbita od triju oblica,a okreće se oko jakog željeznog trnka K.Jezik je poduprijet s lijevog kraja još i o stupac s, koji je s donjim krajem utaknut u rupu,izbušenu u dnu točila,a s gornjim krajem prislonjen na jaki željezni klin c,provućen kroz horizontalnu prečagu P,koja je montirana iznad točila na dva stupa zabita u zemlju na obim stranama izvan točila.Poprečna gredica z u samom točilu ima zadaću još bolje utvrditi položaj jezika,jer je izvrgnut dosta jakim udarcima prometa.U crtkanom položaju učvršćen je jezik analogno: Stupac s treba preložiti u rupu r,a željezni klin c i gredicu z simetrično na suprotnu stranu.

e/ Reguliranje kliskosti i brzine klizanja. Reguliranje kliskosti potrebno je i na besprijekorno trasiranom i izgradjenom točilu zbog promjenljivog utjecaja atmosferilija na koeficijenat trenja,pa zbog nejednoličnosti i medju komadima istog sortimenta,koji se otpremaju.K tome pridolazi kadkada još i nesavršenost linije,koja je zbog terenskih prilika mjestimično prevelikog ili premalenog nagiba i na dužem potezu.

Najjednostavnija su ova sredstva: Jeftino se smanjuje koeficijenat trenja,da se presuho točilo poškropi ili polije sa vodom. Više stoji namaz od sapuna ili loja.Povećati se pak može koeficijenat trenja,da se ubacuje suhi pijesak ili zemlja u točilo za vrijeme pogona.Ta sredstva nijesu ali vrlo efikasna,ne djeluju jednolično,naročito na dužem potezu,a nijesu ni svagdje pri ruci.Uspješno se upotrebljavaju na kraćem potezu premalenog ili prevelikog nagiba /20-30 m./.

Efikasniji su naročiti uredjaji.Tako na pr. na potezu premalenog nagiba upotrijebio je Turner /Newfoundland/ točilo sa valj-



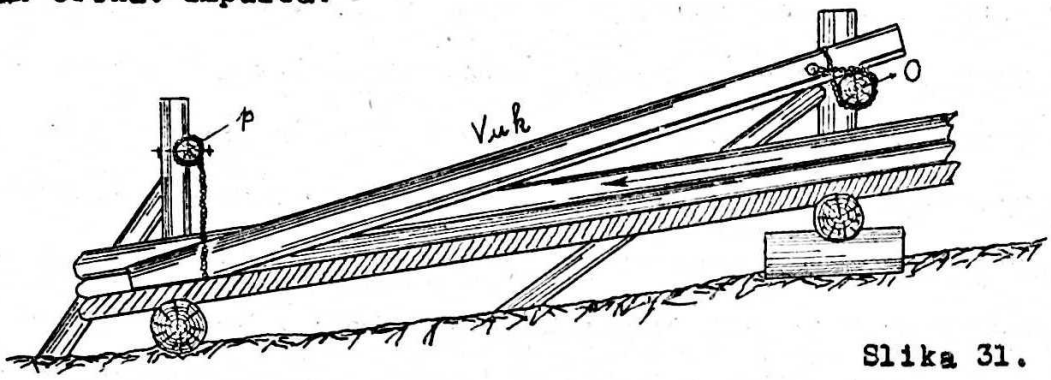


Slika 30.

cima u dnu izgradjeno prema slici 30.Ovo točilo sastoji od 5 m.dugačkih odsječaka,koji se mogu rastaviti i prenijeti na drugo mjesto po potrebi.Valjci, obično izradjeni od jelovine, mjere u promjeru 8-30 cm.,a dugački su najmanje 45 cm. Ovako konstruirano točilo može se upotrijebiti sve do nagiba od 5%.

Od kočnih uredjaja najpoznatiji su t.zv. "vukovi" /Wolfe/. Pod tim imenom razumijeva se 6-8 m.dugačak trupac,25-30 cm. promjera,s donjim krajem položen u točilo,a sa gornjim krajem izdignut i ovješen nad točilom na razan način.Drvo,klizeći žlijebom mora podignuti trupac na donjem kraju i prolaziti ispod njega.Zbog toga gubi na brzini.Vuk najstarije konstrukcije sastajao je obično od dvaju takovih trupaca,koje su se okretale oko zajedničke osovine,provućene kroz gornji njihov kraj.Ta osovina,obično drvena motka,bila je učvršćena na dva stupa,ukopana lijevo i desno žlijeba. Od efekta bilo je djelovanje ovakovih vukova tek kod otpreme sitnijih sortimenata,na potezima blažeg nagiba,na kojima lako drvo klizi umjerenom brzinom.Zatajiše ti vukovi baš ondje,gdje su bili najpotrebniji,na strmim potezima uopće,pa na potezima blažeg nagiba,kod otpreme teških sortimenata.Impuls /$m \cdot v$/ ne zavisi naime samo o brzini/v/ drva,koje klizi,nego i o njegovoj masi /m/,dakle i o njegovoj težini /$Q = m \cdot g$/.Kod teških sortimenata,iako klize umjerenom brzinom, taj je impuls redovno već toliko velik,da odbaci vuk u vis,a drvo dobrano odmakne prije nego je vuk natrag pao na nj ili u točilo. Odbacivanje je pak to efikasnije,što je osovina za kretanja nepodatnija.Vuk,predočen na slici 31.ima još doduše nepomičnu osovinu, oblicu O .No mogućnost okretanja oko te osovine udešena je već

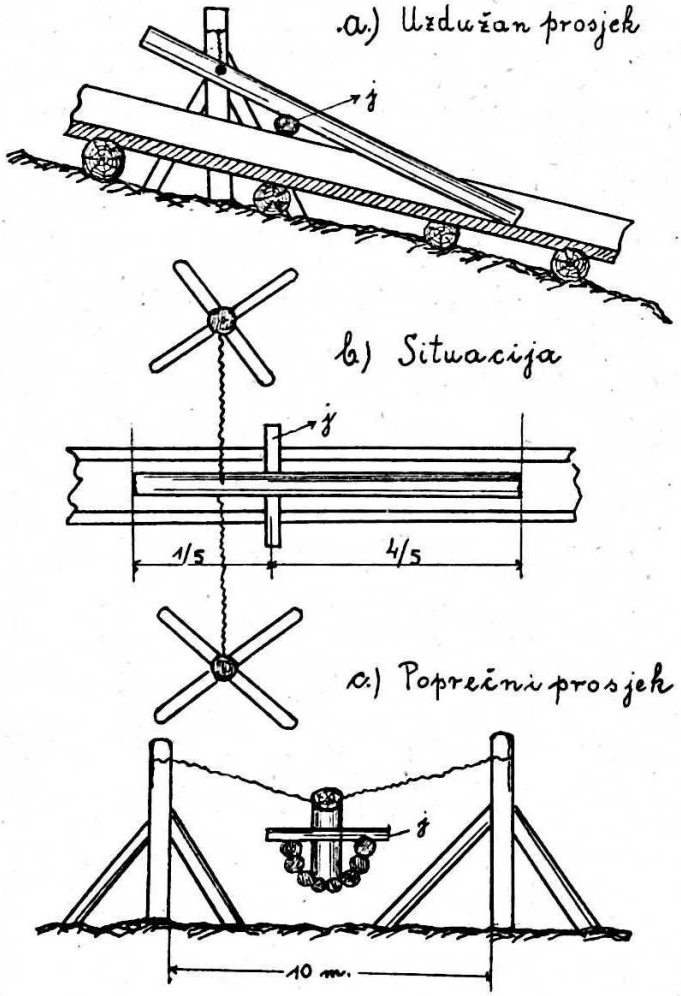
elastičnije,s pomoću lanaca,i na taj način smanjen opisani nepovoljan efekat impulsa.



Slika 31.

Osim toga na donjem kraju zgodno montirana prečaga p spriječava previsoko izdizanje i brz povrat donjeg kraja vuka u točilo,dakle i snažnije njegovo kočno djelovanje.Ova prečaga služi još i u svrhu,da se donji kraj vuka s pomoću lanca izdigne nad točilo toliko, koliko je potrebno,da lakši sortimenti,koje nije potrebno kočiti, nesmetano prodju ispod njega.

Najsnažnije djelovanje pokazao je do sada vuk konstruiran prema slici 32.



Slika 32.

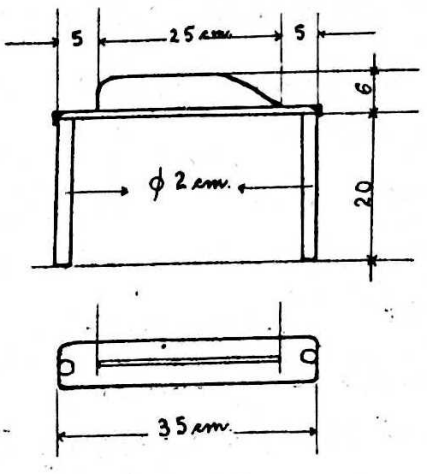
Kroz gornji kraj vuka provučeno je 10 m.dugačko žično uže, razapeto medju dva pokraj točila ukopana i dobro poduprta stupa. Uže je razapeto tek toliko,da stoji gotovo horizontalnb,dok još nije opterećeno sa vukom. Da se ne pregiba odviše pod teretom vuka,poduprt je još ovaj sa oblicom j ,obično i ujedno glavnjicom,u tu svrhu naročito podignutog jarma.Po toj oblici smiče se vuk gore dolje,dok radi,zbog elastičnosti i podatnosti žičnog užeta.Žestina sudara znatno je ublažena na ovaj način.Nadošlo drvo povuće za

sobom donji kraj vuka,koliko elastičnost užeta dopušta,te klizi pritisnuto vukom gotovo na cjelu dužinu tarući se o nj.Ovakav vuk može biti takodjer složen od dviju oblica po potrebi.

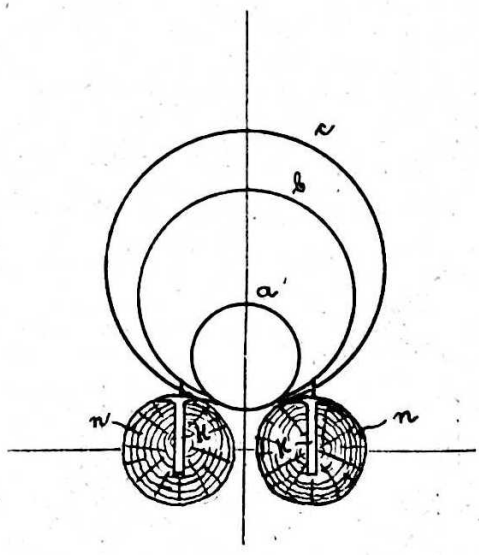
Ne dostaje li jedan vuk,mogu se ugraditi više njih,jedan iza drugoga,u primjerenim razmacima,na zgodnim mjestima.Općenito je ipak vuk skupocjena naprava,nejednoličnog,najčešće premalenog efekta. Slabiji sortimenti gube redovno previše na brzini,a jači još uvjek premalo.Zbog čestih i jakih udaraca,kojima udara pogonjeno drvo o vukove,ovi opet o točilo,treba ih često obnavljati.Troškovi uzdržavanja nijesu dakle uvijek u skladu sa masom,koju treba otpremiti. Zbog toga se je nastojalo i nastoji se još i danas oko njihovog usavršenja ili oko pronalaska ekonomičnije i efikasnije kočnice drugog kojeg tipa.

Usavršavanjem bavili su se ponajboljim uspjehom američani Thurner i Pearson.Prvi je zgodno armirao vuk,a njegovo djelovanje pojačao čeličnim perom.Drugi je upotrijebio komprimirani zrak,s kojim reguliše njegovo djelovanje.Jedna i druga konstrukcija traže stručnu izradbu,nijesu jednostavne,a treba ih takodjer prilagoditi prilikama točila i sortimenata,koji će se otpremati.Zbog toga nijesu prodrle općenito.

Odvojenim putem pošao je ing.Mihevc i konstruirao jeftinu efikasnu,uz to još i automatsku kočnicu,koja nije nego par noža, izradjena prema slici 33 a.



Slika 33 a)



Slika 33 b)

Svaki nož sastoji od 25 cm.duge,6 cm.visoke oštrice, coa 6 cm.široke,35 cm.dugačke podložne pločice i dva željezna klina,20 cm.dugačka,2 cm.u promjeru jaka.Na mjestu kočenja,u dnu točila,u nosačima /*m*,sl.33 *b*/ izvrtaju se klinovima odgovarajuće rupe i u nje utaknu oba noža u istom profilu tako,da strše tek oštrice nad nosačima. Razmak noža iste kočnice / 2 noža čine jednu kočnicu/ udesi se tako, da slabiji sortimenti prodju izmedju oštrica,ne dotaknuvši ih se. Što je pak pogonjeno drvo u promjeru jače,to više nasjeda na noževe: jedno zbog većeg promjera,a drugo zbog veće težine.Što jače pak nasjeda drvo na noževe,to snažnije je njihovo kočno djelovanje.Na ovaj način koči ova kočnica automatski i to najsnažnije najteže drvo, a nikako najlakše,dakle upravo kako treba.Nije li jedna kočnica dovoljna /par noža/,mogu se ugraditi dvije,tri ili koliko ih već treba,jedna iza druge.No isto tako mogu se ukloniti lako u svako doba, kad su suvišne.Ova kočnica paralizuje dakle i utjecaj atmosferilija. Ozlede na pogonjenom drvu,zarez od 1 cm.najviše 2,5 cm.dubok,dvije jedva vidljive linije,nemaju praktičnog značenja,jer se nalaze u okrajku trupca,koji se odbacuje na pilani.Noževi su jeftini.Lako ih izradi svaki kovač iz ⊥ željeza 60 mm.visokog isto toliko širokog ili iz 75 cm. dugačkih odpadaka 7kg.teških,istrošenih tračnica.-

Na koncu spominjemo još,amerikanski ▽ profil točila može se upotrijebiti na strmim mjestima takodjer kao kočnica,jer koči to jače,što su mu stijene strmije.Ako je još i dno dovoljno široko tako,da slabiji sortimenti klize na tangirajući stijene trajno,i taj profil koči automatski,barem djelomično.-

Sva ova sredstva upotrebljavaju se sa istom svrhom i na putoklizini.Jer ova može da poprimi i oblik točila na svakom mjestu po potrebi.Naravno i obrnuto: točilo može da se preobrazi u putoklizinu svagdje,gdje treba /naročito u usjecima/.-

f.) <u>Razdioba i upotreba nadzemnih točila.</u> Već prema stanju u kojem je sposobno za rad razlikujemo:<u>suho,ovlaženo,osniježeno i ledjeno</u> nadzemno točilo. Analogno kao kod putoklizina suho i ovlaženo točilo može se upotrijebiti tek u proljetno,ljetno i jesensko doba,

a osniježeno i oledjeno tek u zimsko doba.Na liniju i konstrukciju točila utječu nadalje i sortimenti,koji će se otpremati.Zbog toga se razlikuje točilo udešeno za dugo drvo ili deblovinu od točila za otpremu trupaca,a ovo opet od točila za kraće oblice i gorivo drvo. Prvo ima najveće,a posljednje najmanje zahtjeve kao obzirom na liniju tako i obzirom na konstrukciju točila.

Nadalje razlikujemo već prema upotrebi i svrsi:

Glavno i trajno točilo,solidno izgradjeno u glavnim dolinama, da potraje što duže.-

Sporedno točilo,koje ulazi u glavno ili ne ulazi u nj,nego izbacuje robu kraj njega.

Točilo,koje spaja dva druga transportna sredstva /na pr.dva puta ,dvije pruge u raznim visinama/.

Jednostavno izradjena /redovno neosedlana/ zbirna točila za prikupljanje robe u istoj sječi.

Zaštitno točilo kojim se prekida put drugog kojeg načina transporta kroz mladu sastojinu ili slično štogod,što treba obraniti od ozljeda.

Razdijelna točila, s pomoću kojih se sortira roba na stovarištu.

Sporedna točila ako služe na kratko vrijeme,izgradjuju se često tako,da se lako demontiraju i prenose na drugo mjesto.Razgradjuju se odozgo prema dolje,otpremajući razgradjene dijelove kroz još nerazgradjeno točilo.

Nadzemno točilo služi kao sporedno transportno sredstvo i svim ostalim šumskim prometalima.

g/ Linija nadzemnog točila dijeli se takodjer u tri karakteristična dijela: početni,srednji i završni dio.Početni dio sastoji od 4-5 odsječka,dugačak je dakle svega 30-40 m.,a položen je u blagom nagibu,kod ljetnih točila sa 5-8%,kod zimskih sa 3-5% te brzo prelazi u srednji dio.Linija srednjeg dijela neka je po mogućnosti ispružena najvećeg nagiba na početku,najmanjeg na kraju.U završnom dijelu zaustavlja se drvo i izbacuje na stovarište.Linija tog dijela ima

kočan karakter,razgranjuje se gdjekada u razdjelna točila,svršava pak svakako sa kratkim pravcem u protunagibu zbog bacala.Nagib sporednog točila na kraju neka se ne razlikuje mnogo od nagiba glavnog točila,u koje ulazi.

Lom nagiba treba ublažiti vertikalnim lukovima polumjera najmanje od 200 m.Budući da točilo sastoji od ravnih odsječaka,praktički se izvodi pravilan mnogokut,namjesto luka kružnice.Mjeri li dužina stranice 20 m.takvog mnogokuta,diferencija nagiba dviju susjednih stranica mjeri okruglo 5%,ako iznosi polumjer krivosti 200 m,a okruglo 2%,ako taj polumjer mjeri 500 m.Što je ta diferencija manja, to sigurnije se odvija promet.Otprema li se dugo drvo,minimalan radius horizontalnih lukova iznosi 100 m.;kod otpreme kratkih sortimenata može se još sniziti na 60 m.To je uopće minimalna vrijednost horizontalnog polumjera krivosti kod drvenih točila.

Podaci o najpovoljnijem nagibu su ovi.

Kod otpreme dugog i teškog drva /trupaca/:

u ljetnom točilu - 15 do 20%

u zimskom točilu - 3 do 6%

Kod otpreme kratkog i lakšeg drva /oblica/

u suhom ljetnom točilu - 30 do 40%

u ovlaženom " " - 15 do 30%

u zimskom točilu - 8 do 35%

Cjepanice traže nagib.

u suhom ljetnom točilu - 40 do 60%

u ovlaženom " " - 30 do 40%

U tom pogledu mogu poslužiti i podaci o koeficijentu trenja / $\mu = tg\,\tau$ / u drvenom točilu kod otpreme raznih sortimenata,pronadjeni i izdani po Petraschek-u /vidi tablica 1 str.47./

Dužina drvenog nadzemnog točila iznosi najviše 100-120 odsječaka - dakle ispod kilometra - kod prometa bez prekidanja.-

h/ Zaključak. Nadzemno točilo služi kao privremeno i sporedno transportno sredstvo vrlo često zbog ovih svojih prednosti:
Ne dira tlo. Litičasto, nemirno, nesigurno, bujičnim jarcima prekinuto, za druga transportna sredstva prestrmo ili inače nezgodno tlo daje u najviše slučajeva još uvijek dovoljno uporišta za izgradnju nadzemnog točila. Često biće to i jedino moguće riješenje u takovim prilikama, kao i u prilikama, kad treba upraviti transport preko zaštićenih sastojina sa što manje štete. Potreban gradjevan materijal nalazi se na licu mjesta ili nije barem daleko. Izgradnja iziskuje tek jednovrsnu stručnu radnu snagu. Na valjanom izgradjenom točilu troškovi transporta su minimalni a i kalo je manji /oca 5%/ prema kalu primitivnijih klizina. Otpremati se može roba dapače i noću, za vrijeme mjesečine. Točilo se lako demontira i prenosi na drugo mjesto po potrebi.
S druge strane točilo treba mnogo drvene gradje /prosječno 1/4 š.m. grubo obdjelanog drva po tm/, a kratko traje /5-7 godina/. Troškovi uzdržavanja nijesu gdjekad takodjer maleni /elementarne štete/. Nije li točilo izgradjeno kako treba, lako nastaju smetnje u prometu, pa i druge štete od ispalog drva. Točilo ne otvara šumu trajno.
Odvijanje prometa u točilu iziskuje jednake mjere opreza, kao odvijanje prometa na putoklizini.
Zbog svih tih prilika, naročito pak zbog znatne potrebe na drvenoj gradji, općenito biće racionalno nadzemno točilo tek na kraćim potezima.-

8/ Račun kod klizina.

a/ Općenito. Drvo klizi zbog komponente vlastite težine paralelne sa podlogom, a spriječava ga u klizanju trenje, koje zavisi o komponenti vlastite težine, okomite na podlogu, o centrifugalnoj sili, pa o koeficijentu trenja. Osim toga spriječava klizanje i otpor zraka.
U konkretnom slučaju, ako je zadan oblik linije i gornjeg stroja klizine, a poznat koeficijenat trenja i otpor zraka, teoretski uvijek se može odrediti zakon, po kojem će se mijenjati brzina zadanog sorti-

Tablica 1.

Koeficienat trenja μ / kut trenja τ / kod klizanja drveta u drvenom točilu.

Opis točila i drva, koje se otprema.	Koeficienat trenja μ			Kut trenja τ		
	od	do	Srednja vrijednost	od	do	Srednja vrijednost
a.) Suho točilo						
deblo	0·34	0·43	0·35	18°47'	23°16'	19°18'
trupac	0·36	0·40	0·38	19°47'	21°48'	20°48'
oblica (Dreiling)	0·32	0·42	0·40	17°44'	22°46'	21°48'
tvrda cjepanica	0·37	0·42	0·40	20°18'	22°46'	21°48'
mekana cjepanica	0·36	0·51	0·44	19°47	27°01'	23°45
b.) Vlažno točilo						
deblo	0·06	0·17	0·15	3°26'	9°38'	8°32'
trupac	0·07	0·21	0·18	4°00'	11°51'	10°13'
oblica (Dreiling)	0·11	0·22	0·21	6°16'	12°24'	11°52'
tvrda cjepanica	0·22	0·30	0·25	12°24'	16°42'	14°03'
mekana cjepanica	0·30	0·34	0·31	16°42'	18°47'	17°14'
c.) Osniježeno točilo						
deblo	0·09	0·15	0·12	5°08'	8°32'	6°51'
trupac	0·08	0·17	0·14	4°35'	9°38'	7°59'
oblica (Dreiling)	0·12	0·19	0·15	6°51'	10°45'	8°32'
tvrda cjepanica	0·11	0·17	0·15	6°16'	9°38'	8°32'
mekana cjepanica	0·16	0·24	0·22	9°05'	13°30'	12°25'
d.) Oleđeno točilo						
deblo	0·02	0·05	0·04	1°09'	2°52'	2°17'
trupac	0·04	0·10	0·08	2°17'	5°43'	4°35'
oblica (Dreiling)	0·09	0·12	0·10	5°08'	6°51'	5°43'
tvrda cjepanica	0·10	0·14	0·12	5°43'	7°59'	6°51'
mekana cjepanica	0·15	0·19	0·16	8°32'	10°45'	9°06'

Po Petraschek-u.

Koeficienat trenja μ /kut trenja τ /kod klizanja drveta na tlu. Tablica 2.

Po Forster-u.

	Opis tla.	Koeficienat trenja kod klizanja drveta.				Kut trenja kod klizanja drveta.			
		bez	sa	bez	sa	bez	sa	bez	sa
		korom na				korom na			
		suhom tlu		vlažnom tlu		suhom tlu		vlažnom tlu	
1.	Tvrdo, čvrsto, prašno tlo, prosto od kamena.	0·486	0·548	0·403	0·483	25°55'	28°43'	21°56'	25°46'
2.	Tlo kao pod 1. samo prekriito sa krup-=nijim, nevezanim valucjem.	0·413	0·495	0·251	0·347	22°26'	26°20'	14°05'	19°10'
3.	Tlo kao pod 1. prekriito oštrobridnim ma-=lim kamenom (tučencem).	0·441	0·523	0·389	0·469	23°50'	27°36'	21°15'	25°10'
4.	Tlo kao pod 3. prekriito oštrobridnim tučen-=cem u većoj mjeri.	0·467	0·540	0·385	0·520	25°02'	28°30'	21°03'	27°30'
5.	Tvrdo, čvrsto tlo, prekriito 4-5 cm. jakim slojem oštrobridnog tučenca (vapnenac).	0·479	0·562	0·347	0·449	25°35'	29°20'	19°10'	24°10'
6.	Tvrdo, čvrsto tlo, prekriito 4-5 cm. jakim slojem krupno-zrnatim pijeskom.	0·491	0·534	0·400	0·472	26°10'	28°06'	21°50'	25°16'
7.	Tvrdo ilovasto tlo, prosto od kamena i vegetacije.	0·478	0·571	0·161	0·269	25°33'	29°43'	9°10'	15°03'
8.	Tlo kao pod 7. prekriito mršavom tra-=vinom.	0·513	0·536	0·426	0·486	27°10'	28°11'	23°04'	25°55'
9.	Rahlo tlo livade (netom pokošena li-=vada).	0·505	0·586	0·425	0·478	26°50'	30°22'	23°01'	25°33'

menta.Praktički ali nailazi takav račun na mnogo poteškoća,naročito, kad linija klizine poprimi oblik krivulje.No već i kod najednostavnijeg oblika te linije - pravca -,da bi se pojednostavnio račun,pa olakšala praktična primjena,potrebne su izvjesne pretpostavke,koje ne odgovaraju posve stanju uistinu.Tako na pr.otpor zraka zavisi o obliku sortimenta,a mijenja se sa brzinom klizanja.Zavedenje ovakvog promijenljivog utjecaja u račun,komplicira ga vrlo,a praktičnu primjenu otegoćuje.Zbog toga se otpor zraka praktički ne uzima u račun i to s tim manje,što je taj utjecaj,pored ostalih utjecaja na brzinu malen /poradi zgodnog oblika i položaja drva,dok klizi/.Nadalje koeficienat trenja uzima se kao komstanta u račun,iako se taj uistinu mijenja sa brzinom - i uz iste inače prilike.Kod malenih brzina je nješto veći,kod većih brzina je nješto manji.K tome pridolazi još i to,da nijesu ni na istom mjestu klizine prilike iste.One se svedjer mijenjaju,a onda i koeficienat trenja,zbog utjecaja atmosferilija, pa zbog raznoličnosti sortimenta,koji se otpremaju.Kako se mijenja koeficienat trenja u drvenom točilu sa sortimentima,već prema tome, da li je ono suho,ovlaženo,osniježeno,ili oledjeno,donijeli smo već u tablici 1./strana 47/,a kako na ostalim klizinama,može se prosuditi iz Forsterove tablice 2./strana 48/.

Uočivši sve do sada rečeno izlazi općenito: koeficienat trenja na klizini je promjenljiv.Budući pak i njegova promjenljivost zavisi u velike o slučajnostima,ne može se ustvrditi niti zakon po kojemu se mijenja.Mogu se tek odrediti vjerojatne granice,u kojima se kreće.Ako je na pr.po Petrascheku za trupce najmanji koeficienat trenja 0,04,a najveći 0,10 kod otpreme u oledjenom točilu,onda možemo prilično sigurno ustvrditi: kod otpreme trupaca u oledjenom točilu kreće se koeficienat trenja u granicama. $0,04 \leqq \mu \leqq 0,10$.Ovakove empiričke granice mogu se velikom vjerojatnošću postaviti i za ostale klizine.Treba imati takodjer na umu,ako se na pr.kaže: najpovoljniji nagib za otpremu izvjesnog sortimenta,na izvjesnoj klizini iznosi po iskustvu 30-35%,da se može zaključiti,praktički dovoljno tačno,koeficienat trenja za taj sortimenat na toj klizini

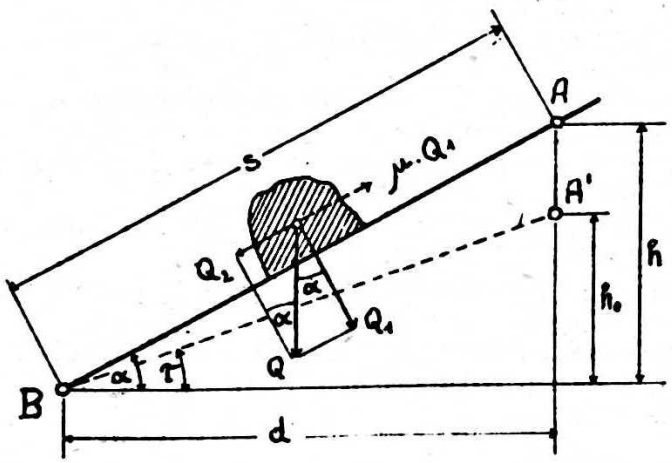
kreće se u granicama $0,20 \leq \mu \leq 0,35$. To slijedi iz veze, koja postoji izmedju kuta /nagiba/ trenja τ i koeficienta trenja $\mu = tg\tau$. Na ovaj način ipak možemo računati sa koeficientom trenja kao i s konstantom, i to jedanputa ispitujući sposobnost rada klizine uz najmanju, a drugi puta uz najveću njegovu graničnu vrijednost. Dokažemo li sposobnost rada klizine uz obje te vrijednosti računski, možemo sigurno računati i na sposobnost rada te klizine uistinu, jer će se koeficienat trenja najčešće kretati unutar ovih granica uistinu, a granične vrijednosti poprimiti tek iznimno i to ne na cijelom potezu.

b/ Klizanje u pravcu.

Na kosini /AB sl.34/, nagiba α prema horizontali, klizi tijelo težine Q u općenitom slučaju zbog djelovanja paralelne sile sa kosinom:

$$T = Q_2 - \mu . Q_1 .$$

Q_2 je komponenta vlastite težine tijela paralelna sa podlogom, a Q_1 takova komponenta okomita na podlogu. Zapravo pogoni tijelo komponenta Q_2, a tek njezino djelovanje umanjuje trenje μQ_1. Budući da je $Q_2 = Q_1 tg\alpha$, a $Q_1 = Q\cos\alpha$, gornja formula može se svesti na oblik:



Slika 34.

$$T = Q_1 tg\alpha - \mu Q_1 = Q\cos\alpha\,(tg\alpha - \mu).$$

Nadalje, ako a_t označuje akceleraciju u smjeru kosine, g akceleraciju teže, a m masu tijela biće:

$$T = m.a_t \qquad i \qquad Q = mg ,$$

ili uvrstivši ove vrijednosti u gornju jednadžbu:

$$a_t = g.\cos\alpha\,(tg\alpha - \mu) \qquad 1)$$

Budući da su α, g i μ u konkretnom slučaju konstante, to je i akcele-

racija a_t u smjeru kosine isto konstanta.

Izmedju akceleracije a_t, brzine v, i puta u smjeru kosine postoje poznati snošaji:

$$a_t = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{ds}\frac{ds}{dt} = \frac{dv}{ds} \cdot v$$

$$v\,dv = a_t \cdot ds. \qquad 2.)$$

Na početku puta $s=0$, u tački A neka je tijelo već imalo izvjesnu brzinu v_a. Brzinu v na kraju puta $s=s$, u tački B, dobićemo onda integracijom jednadžbe 2.) u odgovarajućim granicama:

$$\int_{v_a}^{v} v\,dv = a_t \int_0^s ds$$

$$\frac{v^2}{2} - \frac{v_a^2}{2} = a_t \cdot s \quad , \quad v^2 = v_a^2 + 2a_t s \qquad 3a)$$

ili obzirom na jednadžbu: 1.)

$$v^2 = v_a^2 + 2gs.\cos\alpha(\operatorname{tg}\alpha - \mu) \qquad 3b.)$$

Horizontalna projekcija puta s je $d = s.\cos\alpha$, a vertikalna: $h = d.\operatorname{tg}\alpha$.

Zbog toga se posljednja jednadžba može još pisati u obliku:

$$v^2 = v_a^2 + 2gd(\operatorname{tg}\alpha - \mu) \qquad 3c.)$$

i konačno u obliku:

$$v^2 = v_a^2 + 2g(h - \mu d) \qquad 3d.)$$

Odgovara li koeficientu trenja μ, kut trenja τ, biće

$$h_o = d.\operatorname{tg}\tau = d.\mu.$$

Na kraju kosine promijenila se dakle brzina, kao da je tijelo slobodno palo sa visine h na visinu h_o sa tačke A u tačku A'. Prema visini slobodnog pada h je $h_o = \mu d$ izgubljena visina zbog trenja.

Stavili se $\alpha = \tau$ biće /iz formule 3c. / $v = v_a$. Odatle izlazi definicija. Kut trenja τ je nagib klizine, uz koji klizi teško tijelo jednoličnom brzinom /$v = v_a$/ ili se nalazi upravo na granici stanja mirovanja /za $v_a = 0$/. Na početku klizine mora dakle biti svakako $a_a > \tau$.

Iz te formule izlazi nadalje:

$$\mu = \operatorname{tg}\alpha - \frac{v^2 - v_a^2}{2gd},$$

jednadžba, iz koje su Forster i Petraschek računali koeficienat trenja.

Primjena formule brzine. Ako je na početku puta tijelo

mirovalo / $v_a=0$ /, na kraju puta mjeri brzina:

$$v^2 = 2gd(tg\alpha - \mu) = 2g(h - \mu d) \qquad 4.)$$

Na kraju horinzontalnog puta / $\alpha=0$; $s=d$ / brzina mjeri:

$$v^2 = v_a^2 - 2g\mu d \qquad 5.)$$

Iz ove jednadžbe izlazi: ako je na početku horizontalnog puta tijelo imalo brzinu v_a, koja je spala na kraju na iznos v, dužina tog puta mjeri.

$$d = \frac{v_a^2 - v^2}{2g\mu} . \qquad 6.)$$

Za $v=0$, slijedi opet dalje. Započne li tijelo kliziti brzinom v_a, zastat će na horizontalnom putu dužine:

$$d = \frac{v_a^2}{2g\mu} . \qquad 7.)$$

Uspinje li se teško tijelo uz kosinu, kut α biće negativan, a formula 3c/ poprima oblik:

$$v^2 = v_a^2 - 2gd(tg\alpha + \mu) \qquad 8.)$$

Iz ove pak slijedi:

$$d = \frac{v_a^2 - v^2}{2g(tg\alpha + \mu)} \qquad 9.)$$

tj. d je horinzontalna projekcija uzbrdice S, uspona α, na kraju koje teško tijelo ima još brzinu v, ako se je počelo uspinjati sa brzinom v_a.

Za $v=0$ izlazi konačno:

$$d = \frac{v_a^2}{2g(tg\alpha + \mu)} \qquad 10.)$$

t.j. d je horinzontalna projekcija uzbrdice S, uspona α, na kraju koje sustane tijelo, ako se je počelo uspinjati sa brzinom v_a.-

Općeniti primjer. Iz formule 3c/ ako se riješi na d, izlazi formula:

$$d = \frac{v^2 - v_a^2}{2g(tg\alpha - \mu)} \qquad 11.)$$

iz koje se može prosuditi moguća dužina klizine trasirane u pravcu. Zanemarimo li još neznatnu brzinu v_a, kojom se ubacuje drvo na početku u klizinu, izlazi:

$$d = \frac{v^2}{2g(tg\alpha - \mu)} . \qquad 11a.)$$

U konkretnom slučaju nagib α, dakle i $tg\alpha$ je konstanta, dok se koeficienat trenja mijenja u izvjesnom intervalu $\mu_{max} \leqq \mu \leqq \mu_{min}$ klizina je pak sposobna da radi u ovom intervalu, ako je njezin na-

gib α udešen tako, da je $tg\alpha$ barem nješto veće od μ_{max}. U naše svrhe stavimo dovoljno tačno $tg\alpha \sim \mu_{max}$. Brzina v na kraju klizine postizava najveću vrijednost v_{max}, kad klizi na njoj drvo uz najmanju moguću vrijednost koeficienta trenja, dakle uz $\mu = \mu_{min}$. Ta maksimalna brzina svakako je ograničena kapacitetom kočnih uredjaja na stovarištu. Označimo li u kratko $\mu_{max} - \mu_{min} = \Delta\mu$, iz gornje formule izlazi za maksimalnu dužinu takove klizine:

$$d_{max} = \frac{v_{max}^2}{2g(\mu_{max} - \mu_{min})} = \frac{v_{max}^2}{2g\Delta\mu} \qquad 11b.)$$

Za razne vrijednosti v_{max} i $\Delta\mu$ iskazuje rezultate te formule tablica, kako slijedi:

$v_{max} = m/sec$	10	20	30	40
	d_{max} m			
$\Delta\mu = 0{,}06$	85	340	764	1.359
0,10	51	204	458	815
0,15	34	136	306	544

Iz te tablice izlazi, da klizina može biti to duža, što je manji interval koeficienta trenja uz koji radi. Budući da je taj interval kod zimskih klizina općenito manji, a kod ljetnih veći, zimske klizine sposobne su da rade na veće dužine od ljetnih. Nadalje slijedi iz te tablice, klizina može biti to duža, što je veća dopuštena brzina na kraju. Odatle se vidi, od kolikog je značenja reguliranje kliskosti uopće, napose pak djelovanje dobro konstruiranih kočnih uredjaja. Nuzgred napominjemo, pravac nije najpovoljniji oblik, uz koji klizina postizava najveću radnu dužinu.-

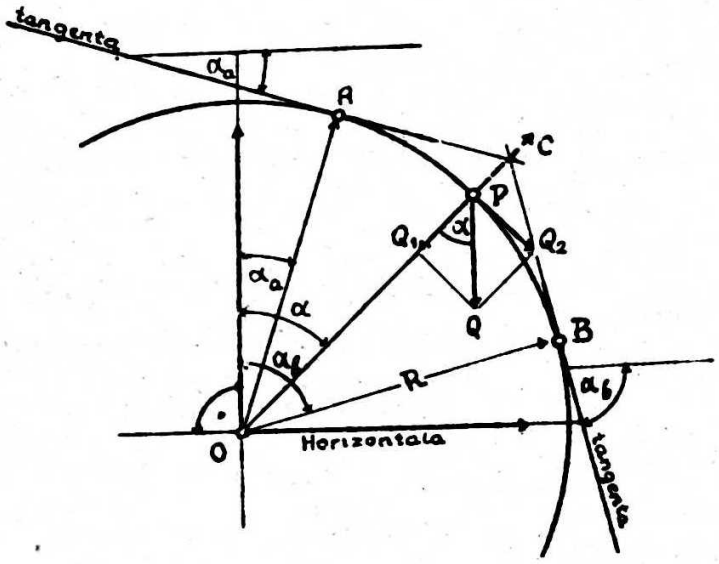
c.) Klizanje na lomu nagiba u luku vertikalne kružnice.

α.) Tačan račun.

Konveksna kružnica prema gore /sl.35./.

Težište P teškog tijela opisuje luk kružnice A-B. Težina tog tijela Q rastavljena je u komponentu Q_1 okomito na podlogu, dakle u smjeru

normale kružnice, pa u komponentu Q_2 u smjeru tangente. Osim teže djeluje na tijelo još i centrifugalna sila C u istoj normali sa komponentom Q_1, ali u suprotnom smjeru. Tangente klizine, priključena na luk AB, nagnute su prema horinzontali pod kutem α_a dotično α_b. U povoljnoj tački P tangenta luka nagnuta je prema horinzontali pod kutem α, pak je $\alpha_a \leqq \alpha \leqq \alpha_b$.



Slika 35.

Teško tijelo klizi onda zbog djelovanja tangecijalne sile:

$$T = Q_2 - \mu (Q_1 - C)$$

Uvrste li se vrijednosti:

$$Q_1 = Q \cdot \cos\alpha \ , \quad Q_2 = Q \cdot \sin\alpha$$

izlazi

$$T = Q(\sin\alpha - \mu \cdot \cos\alpha) + \mu C \ .$$

Nadalje je $T = m\,a_t$, $Q = m\,g$,

$$C = \frac{m \cdot v^2}{R} \ .$$

Posljednja jednadžba podijeljena sa masom tijela m, daje onda akceleraciju u smjeru tangente:

$$a_t = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha) + \frac{\mu v^2}{R} \ .$$

Prema jednadžbi 2.)/str.51./ je:

$$v\,dv = a_t \cdot ds \ ,$$

ili obzirom na posljednju jednadžbu:

$$v\,dv = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)\,ds + \frac{\mu \cdot v^2}{R}\,ds$$

Dok je tijelo stiglo iz točke A u tačku P, njegovo težište opisalo je luk dužine: $s = R(\alpha - \alpha_a)$,

dakle je $ds = R \cdot d\alpha$.

Nadalje je: $\sin\alpha - \mu \cdot \cos\alpha = \sin\alpha - tg\,\tau \cdot \cos\alpha = \frac{\sin(\alpha - \tau)}{\cos\tau}$,

Posljednja jednadžba može se dakle pisati:

$$v\,dv = \frac{g\,R}{\cos\tau}\sin(\alpha - \tau)\cdot d\alpha + \mu v^2 d\alpha \ ,$$

ili ovako:

$$\frac{dv}{d\alpha} - \mu v = \frac{g\,R}{v\cos\tau} \cdot \sin(\alpha - \tau) \ .$$

U svrhu riješenja ove diferencijalne jednadžbe stavimo:

$$v = z \cdot e^{\mu\alpha}; \qquad \frac{dv}{d\alpha} = \frac{dz}{d\alpha} \cdot e^{\mu\alpha} + \mu z e^{\mu\alpha},$$

pa uvrstimo u posljednju jednadžbu:

$$\frac{dz}{d\alpha} e^{\mu\alpha} + \mu z e^{\mu\alpha} - \mu z e^{\mu\alpha} = \frac{g \cdot R}{z e^{\mu\alpha} \cdot \cos\tau} \sin(\alpha - \tau),$$

$$\frac{dz}{d\alpha} \cdot e^{\mu\alpha} = \frac{g R \sin(\alpha - \tau)}{z \cdot e^{\mu\alpha} \cdot \cos\tau},$$

$$z\,dz = \frac{gR}{\cos\tau} \cdot e^{-2\mu\alpha} \cdot \sin(\alpha - \tau)\,d\alpha.$$

Ako integriramo ovu jednadžbu u označenim granicama:

$$\int_{z_a}^{z} z\,dz = \frac{gR}{\cos\tau} \int_{\alpha_a}^{\alpha} e^{-2\mu\alpha} \cdot \sin(\alpha - \tau)\,d\alpha,$$

izlazi:

$$\frac{z^2}{2} - \frac{z_a^2}{2} = \frac{gR}{\cos\tau} \int_{\alpha_a}^{\alpha} e^{-2\mu\alpha} \cdot \sin(\alpha - \tau)\,d\alpha,$$

ili budući da je

$$z^2 = v^2 \cdot e^{-2\mu\alpha}; \quad z_a^2 = v_a^2 \cdot e^{-2\mu\alpha}$$

$$v^2 e^{-2\mu\alpha} = v_a^2 \cdot e^{-2\mu\alpha} + \frac{2gR}{\cos\tau} \int_{\alpha_a}^{\alpha} e^{-2\mu\alpha} \cdot \sin(\alpha - \tau)\,d\alpha$$

Nadalje je:

$$\int_{\alpha_a}^{\alpha} e^{-2\mu\alpha} \cdot \sin(\alpha - \tau)\,d\alpha = \frac{-2\mu \sin(\alpha - \tau) - \cos(\alpha - \tau)}{1 + 4\mu^2} \cdot e^{-2\mu\alpha} \Bigg|_{\alpha_a}^{\alpha}$$

Stavimo još $2\mu = \operatorname{tg}\varepsilon$. Onda je:

$$-\frac{2\mu \sin(\alpha - \tau) + \cos(\alpha - \tau)}{1 + 4\mu^2} = -\frac{\operatorname{tg}\varepsilon \cdot \sin(\alpha - \tau) + \cos(\alpha - \tau)}{1 + \operatorname{tg}^2\varepsilon}$$

$$= -\cos\varepsilon \cdot \left[\sin\varepsilon \cdot \sin(\alpha - \tau) + \cos\varepsilon \cdot \cos(\alpha - \tau)\right],$$

$$= -\cos\varepsilon \cdot \cos(\varepsilon - \alpha + \tau)$$

$$= -\cos\varepsilon \cdot \cos(\varepsilon + \tau - \alpha).$$

Dakle je $\int_{\alpha_a}^{\alpha} e^{-2\mu\alpha} \cdot \sin(\alpha - \tau)\,d\alpha = -\cos\varepsilon \cdot \cos(\varepsilon + \tau - \alpha) \cdot e^{-2\mu\alpha} \Big|_{\alpha_a}^{\alpha}$

$$= -\cos\varepsilon \left[\cos(\varepsilon + \tau - \alpha) e^{-2\mu\alpha} - \cos(\varepsilon + \tau - \alpha_a) e^{-2\mu\alpha_a}\right],$$

$$= \cos\varepsilon \left[\cos(\varepsilon + \tau - \alpha_a) e^{-2\mu\alpha_a} - \cos(\varepsilon + \tau - \alpha) e^{-2\mu\alpha}\right].$$

Gornja jednadžba poprima konačan oblik:

$$v^2 \cdot e^{-2\mu\alpha} = v_a^2 \cdot e^{-2\mu\alpha_a} + 2gR\frac{\cos\varepsilon}{\cos\tau}\left[\cos(\tau+\varepsilon-\alpha_a)e^{-2\mu\alpha} - \cos(\varepsilon+\tau-\alpha)e^{-2\mu\alpha}\right]$$

$$v^2 = v_a^2 \cdot e^{2\mu(\alpha-\alpha_a)} + 2gR\frac{\cos\varepsilon}{\cos\tau}\left[\cos(\varepsilon+\tau-\alpha_a)e^{2\mu(\alpha-\alpha_a)} - \cos(\varepsilon+\tau-\alpha)\right]$$

U ovoj jednadžbi označuje /sl.35/:

v brzinu teškog tijela u povoljnoj tački P luka konveksne vertikalne kružnice;

α nagib tangente luka u toj tački prema horinzontali;

v_a brzinu teškog tijela na početku luka u tački A ;

α_a nagib tangente prema horinzontali u toj tački;

e bazu naravnih logaritama;

μ koeficienat trenja;

τ kut trenja /$\mu = tg\tau$/;

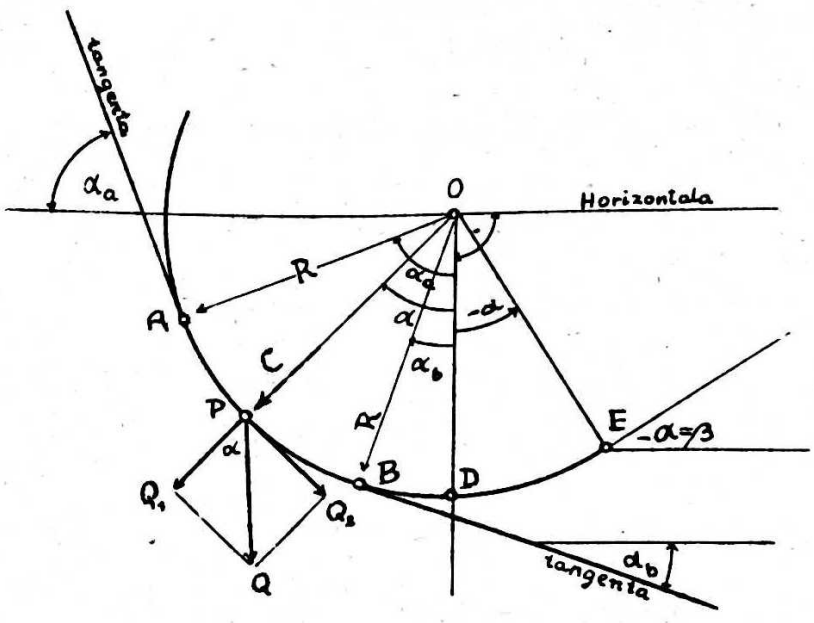
g akceleraciju teže;

R polumjer luka kružnice i konačno:

$tg\varepsilon = 2\mu$

Stavi li se $\alpha = \alpha_b$ /nagib tangente prema horizontali u završnoj tački luka B/, dobije se iz gornje formule $v = v_b$, brzina na kraju luka u tački B .

Konkavna kružnica prema gore./sl.36/.



Slika 36.

Analogno kao u prijašnjem slučaju, teško tijelo klizi zbog djelovanja tangecijalne sile:

$$T = Q_2 - \mu(Q_1 + C)$$

Dok je u prvom slučaju centrifugalna sila smanjivala trenje, sad ga povećaje. Akceleracija u povoljnoj tački P luka

mjeri sada.

$$a_t = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha) - \frac{\mu v^2}{R}$$

Analognim postupkom kao u prvom slučaju izlazi dalje.

$$v\,dv = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)\,ds - \frac{\mu v^2}{R}\,ds$$

Dok je tijelo stiglo iz točke A u tačku P ,njegovo težište opisalo je luk dužine:

$$s = R(\alpha_a - \alpha)$$

dakle je u ovom slučaju: $ds = -R\,d\alpha$

Gornja jednadžba poprima onda analognim daljnim postupkom najprije oblik:

$$v^2 \cdot e^{-2\mu\alpha} = v_a^2 \cdot e^{-2\mu\alpha_a} + \frac{2g}{\cos\tau}\int_{\alpha}^{\alpha_a} e^{-2\mu\alpha} \cdot R \cdot \sin(\alpha - \tau)\,d\alpha \qquad 13.)$$

pa konačan oblik:

$$v^2 = v_a^2 \cdot e^{-2\mu(\alpha_a - \alpha)} + 2gR\frac{\cos\varepsilon}{\cos\tau}\left[\cos(\varepsilon + \tau - \alpha) - \cos(\varepsilon + \tau - \alpha_a) \cdot e^{-2\mu(\alpha_a - \alpha)}\right] \qquad 14.)$$

U ovoj jednadžbi označuje /sl.36/:

v brzinu teškog tijela u povoljnoj tačci P luka konkavne vertikalne kružnice;

α nagib tangente luka u toj tačci prema horinzontali;

v_a brzinu teškog tijela na početku luka u tačci A ;

α_a nagib tangente prema horinzontali u toj tačci;

e bazu naravnih logaritama;

μ koeficienat trenja;

τ kut trenja /$\mu = \operatorname{tg}\tau$/;

g akceleraciju teže;

R polumjer luka kružnice i konačno:

$\operatorname{tg}\varepsilon = 2\mu = 2\operatorname{tg}\tau$

Stavi li se $\alpha = \alpha_b$ /nagib tangente prema horinzontali u završnoj tačci luka B /,dobije se iz gornje formule $v = v_b$ brzina na kraju luka u tačci B .-

Priključuje li se ovakav luk na horinzontalu na donjem kraju / u tačci D /, biće $\alpha = \alpha_d = 0$, a form. 14.) poprima oblik:

$$v_d^2 = v_a^2 \cdot e^{-2\mu\alpha_a} + 2gR\frac{\cos\varepsilon}{\cos\tau}\left[\cos(\varepsilon + \tau) - \cos(\varepsilon + \tau - \alpha_a)e^{-2\mu\alpha_a}\right] \qquad 14a.)$$

Priključuje li se pak luk na tangentu, koja se uspinje / u tačci E /, nagib α biće negativan, a formula 14.) prelazi, za $-\alpha = \beta$ u oblik:

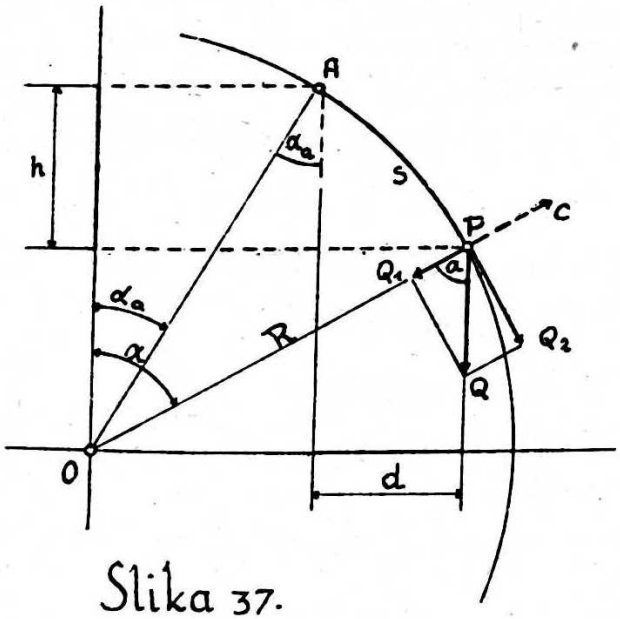
$$v_t^2 = v_a^2 \cdot e^{-2\mu(\alpha_a+\beta)} + 2gR\frac{\cos\varepsilon}{\cos\tau}\left[\cos(\varepsilon+\tau+\beta) - \cos(\varepsilon+\tau-\alpha_a)e^{-2\mu(\alpha_a+\beta)}\right] \qquad 14b)$$

/3/ Približan račun.

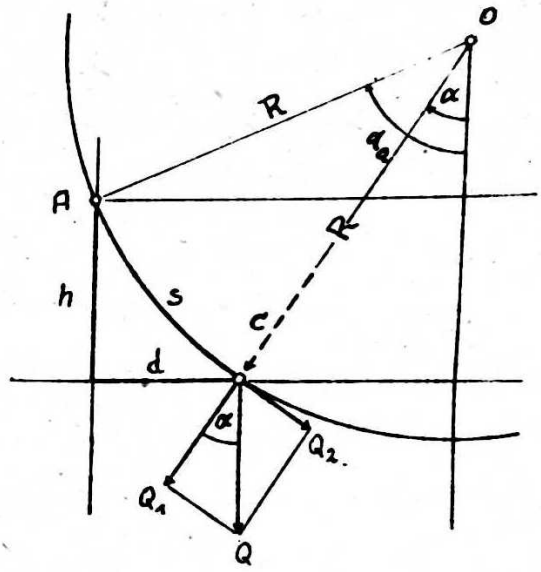
Uz zanemarenje centrifugalne sile. Na vertikalnoj kružnici klizi teško tijelo zbog djelovanja tangecijalne sile:

$$T = Q(\sin\alpha - \mu\cos\alpha) \pm \mu C \qquad \text{/isp.str. 54 , 56 /.}$$

Pozitivan predznak proteže se na konvekenu /sl.37/, a negativan na konkavnu /sl.38/ kružnicu prema gore. Zanemarimo li djelovanje centrifugalne sile, gornja formula, podijeljena sa masom tijela /m/, poprima u oba slučaja jednaki oblik /$C=0$/:



Slika 37.



Slika 38.

$$a_t = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha) ,$$

ili, budući da je: $v\,dv = a_t \cdot ds$,

$$v\,dv = g(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)\,ds . \qquad 15.)$$

Kod konveksne kružnice prema gore je $ds = R \cdot d\alpha$

Gornja jednadžba prelazi dakle u oblik:

$$v \cdot dv = gR(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)\,d\alpha ,$$

a integrirana u označenim granicama:

$$\int_{v_a}^{v} v \cdot dv = g \cdot R\left[\int_{\alpha_a}^{\alpha} \sin\alpha\,d\alpha - \mu\int_{\alpha_a}^{\alpha} \cos\alpha\,d\alpha\right] ,$$

u oblik:

$$\frac{v^2}{2} - \frac{v_a^2}{2} = gR\left[-\cos\alpha + \cos\alpha_a - \mu(\cos\alpha - \cos\alpha_a)\right] .$$

$$v^2 = v_a^2 + 2g\left[R(\cos\alpha_a - \cos\alpha) - \mu R(\sin\alpha - \sin\alpha_a)\right]$$

Iz slike 37 se pak razabire, da je:

$h = R(\cos\alpha_a - \cos\alpha)$ vertikalna, a

$d = R(\sin\alpha - \sin\alpha_a)$ horizontalna projekcija luka s.

Približna jednadžba brzine na konveksnoj vertikalnoj kružnici poprima zbog toga oblik:

$$\underline{v^2 = v_a^2 + 2g(h - \mu d)} \qquad 16.)$$

Kod konkavne kružnice prema gore je $ds = R\,d\alpha$, a jednadžba 15.) poprima oblik:

$$v\,dv = -gR(\sin\alpha - \mu\cos\alpha)\,d\alpha.$$

Integrirana pak u označenim granicama:

$$\int_{v_a}^{v} v\,dv = -gR\left[\int_{\alpha_a}^{\alpha} \sin\alpha\,d\alpha - \mu\int_{\alpha_a}^{\alpha} \cos\alpha\,d\alpha\right],$$

daje jednadžbu:

$$\frac{v^2}{2} - \frac{v_a^2}{2} = -gR\left[-\cos\alpha + \cos\alpha_a - \mu(\sin\alpha - \sin\alpha_a)\right],$$

$$v^2 = v_a^2 + 2g\left[R(\cos\alpha - \cos\alpha_a) - \mu R(\sin\alpha_a - \sin\alpha)\right].$$

Iz slike se razabire, da je:

$h = R(\cos\alpha - \cos\alpha_a)$ vertikalna, a

$d = R(\sin\alpha_a - \sin\alpha)$ horizontalna projekcija luka s.

Približna jednadžba brzine na konkavnoj kružnici poprima onda jednaki oblik sa približnom jednadžbom brzine na konveksnoj kružnici:

$$\underline{v^2 = v_a^2 + 2g(h - \mu d)} \qquad 16.)$$

Budući da su h i d ujedno i projekcije tetive / AP / luka / $s = \overset{\frown}{AP}$ /, pa jer je jednadžba 16.) indentična sa jednadžbom 3d.) /str.51 / može se reći:

<u>Uz zanemarenje utjecaja centrifugalne sile mijenja se brzina teškog tijela na luku vertikalne kružnice jednako kao na tetivi, koja pripada tom luku.</u>

Općenito neće se moći zanemariti utjecaj centrifugalne sile, naročito kod dužih lukova, pa na ljetnim klizinama. Uzima li se pak taj utjecaj u obzir, opet nije potrebno upotrijebiti tačne formule. U redovnim praktičkim slučajevima, namjesto tačne formule 12.),

može poslužiti vrlo dobro za konveksnu krivulju približna formula.

$$v^2 = v_a^2 \cdot e^{2\mu(\alpha-\alpha_a)} + 2g(h-\mu d)$$
$$h = R(\cos\alpha_a - \cos\alpha)$$
$$d = R(\sin\alpha - \sin\alpha_a)$$

---------- 17.)

/Značenje oznaka vidi ispod form. 12.)/

a namjesto tačne formule 14 za konkavnu krivulju približna formula.

$$v^2 = v_a^2 \cdot e^{-2\mu(\alpha_a-\alpha)} + 2g(h-\mu d)$$
$$h = R(\cos\alpha - \cos\alpha_a)$$
$$d = R(\sin\alpha_a - \sin\alpha)$$

---------- 18.)

/Značenje oznaka vidi ispod form. 14.)/

Prva /17.)/ daje nješto manji, a druga /18.)/ nješto veći rezultat (v) od rezultata tačnih formula. Ipak te diferencije nemaju praktičkog značenja.

Primjer 1. Konveksna krivulja prema gore. Zadano je:

$\mu = tg\tau = 0{,}30$; $tg\alpha_a = 0{,}30$; $tg\alpha = 0{,}60$; $R = 200$ m. ; $g = 9{,}81$ m/sec.

Onda je:

T a b l i c a 3.

$\mu = tg\tau = 0{,}30$	tg	stupanj	cos	sin	arc.	$tg\varepsilon = 2\mu = 0{,}60$
α	0,60	30°58'	0,85747	0,51454	0,54047	
α_a	0,30	16°42'	0,95782	0,28736	0,29147	
ε	0,60	30°58'	0,85747			$e^{2\mu(\alpha-\alpha_a)} =$
τ	0,30	16°42'	0,95782			$e^{0,1494} = 1,16114$
$\varepsilon+\tau$		47°40'				
$\varepsilon+\tau-\alpha_a$		30°58'	0,85747			
$\varepsilon+\tau-\alpha$		16°42	0,95782			
$\alpha-\alpha_a$					0.24900	
$2\mu(\alpha-\alpha_a)$					0,14940	
$\cos\alpha_a - \cos\alpha$			0,10035			
$\sin\alpha - \sin\alpha_a$				0,22718		
$\mu(\sin\alpha - \sin\alpha_a)$				0,06815		

Po tačnoj formuli je:

$$v^2 = 1{,}16114\, v_a^2 + 2 \times 9{,}81 \times 200 \frac{0{,}85747}{0{,}95782} \left[0{,}85747 \times 1{,}16114 - 0{,}95782\right]$$

$$v^2 = 1{,}16114\, v_a^2 + 132{,}9$$

$$v^2 = 1,16114\ v_a^2 + 139,9$$

a po približnoj formuli 17

$$v_p^2 = 1,16114\ v_a^2 + 2 \cdot 9,81 \cdot 200 (0,10035 - 0,06815)$$

$$v_p^2 = 1,16114\ v_a^2 + 126,4$$

Za razne vrijednosti brzine tijela na početku luka / v_a / izlazi onda brzina na kraju luka / v tačno, v_p približno/:

T a b l i c a 3.

v_a	v_a^2	$1,16114\ v_a^2$	132,9	v^2	v m/sec	126,4	v_p^2	v_p m/sec
0	0	0		132,9	11,5		126,4	11,2
10	100	116,1		249,0	15,8		242,5	15,6
20	400	464,4		597,3	24,4		590,8	24,3
30	900	1.045,0		1.177,9	34,3		1.171,4	34,2
40	1.600	1.875,8		1.990,7	44,6		1.984,2	44,6

Primjer 2. Konkavna kružnica prema gore. Zadano je.

$\mu = tg\,\tau = 0,30$; $tg\,\alpha_a = 0,60$; $tg\,\alpha = 0$; $R = 200$ m ; $g = 9,81$ m/sec

Onda je:

T a b l i c a 4.

$\mu = tg\,\tau = 0,30$	tg	stupanj	cos	sin	arc.	$tg\,\varepsilon = 2\mu = 0,60$
α_a	0,60	30°58'	0,85747	0,51454	0,54047	
α	0	0	1,0	0	0	$e^{2\mu(\alpha_a-\alpha)} = e^{0,32428} = 1,38305$,
ε	0,60	30°58'	0,85747			
τ	0,30	16°42'	0,95782			
$\varepsilon+\tau$		47°40'				
$\varepsilon+\tau-\alpha$		47°40'	0,67344			$e^{-2\mu(\alpha_a-\alpha)} = \frac{1}{1,38305}$
$\varepsilon+\tau-\alpha_a$		16°42'	0,95782			
$\alpha_a - \alpha$					0,54047	
$2\mu(\alpha_a-\alpha)$					0,32428	
$\cos\alpha - \cos\alpha_a$			0,14253			
$\sin\alpha_a - \sin\alpha$				0,51454		
$\mu(\sin\alpha_a - \sin\alpha)$				0,15436		

Po tačnoj formuli 14./:

$$v^2 = \frac{v_a^2}{1,38305} + 2 \cdot 9,81 \cdot 200 \cdot \frac{0,85747}{0,95782}\left[0,67347 - \frac{0,95782}{1,38305}\right]$$

$$v^2 = \frac{v_a^2}{1,38305} - 67,1$$

a po približnoj formuli 18/

$$v_p^2 = \frac{v_a^2}{1,38305} + 2 \cdot 9,81 \cdot 200\,(0,14253 - 0,15436)$$

$$v_p^2 = \frac{v_a^2}{1,38305} - 46,4$$

Za razne vrijednosti v_a, brzine tijela na početku luka, izlazi brzina / v tačno, v_p približno/ na kraju luka; kako slijedi:

T a b l i c a 5.

v_a	v_a^2	$\frac{v_a^2}{1,38305}$	-67,1	v^2	v	-46,4	v_p^2	v_p
8,0	64,0	46,4		-20,7	.		0	0
9,6	92,8	67,1		0	0		20,7	4,5
10	100	72,3		5,2	2,2		25,9	5,1
20	400	289,2		222,1	14,9		242,8	15,6
30	900	650,7		583,6	24,2		604,3	24,6
40	1.600	1.156,9		1089,8	33,0		1110,5	33,3

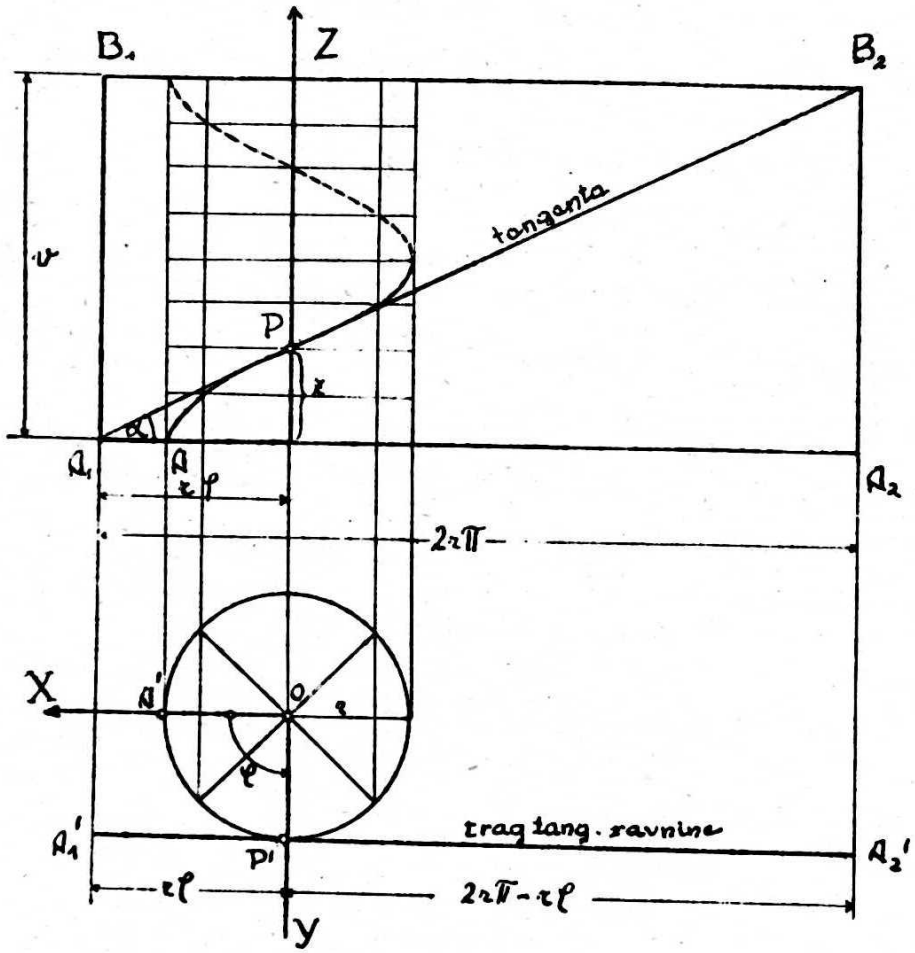
Kod manjih brzina /ispod 20 m/sec/ diferencije izmedju tačnog i približnog rezultata su veće, a kod većih brzina /> 20 m/sec/ su manje. Te diferencije rastu naravno sa dužinom luka. Kod praktičke primjene redovno su manje, jer će se rijetko desiti slučaj, da nagib od 60% neposredno prelazi u horizontalu, kao u ovom primjeru.-

d/ Klizanje u luku cilindrične spirale.

α/ Općenito. Linija klizine, koja pokazuje u situaciji luk kružnice redovno je dio cilindrične spirale, jer se istodobno uzdiže ili pada, a tek iznimno je dio horizontalne kružnice. Nadalje vrijedi pravilo za sve klizine bez razlika: lom nagiba ne može se smjestiti u takav luk. Linija klizine, koja poprima oblik luka kružnice u si-

tuaciji, redovno je dakle dio cilindričke spirale, konstantnog uzdužnog nagiba /α konstans/.

b) Uvjeti, uz koje tijelo opisuje cilindričnu spiralu, konstatnog nagiba u slobodnom prostoru. Slika 39 predočuje takovu spiralu. Baza cilindra je horizontalna kružnica, zadanog polumjera r. Plašt cilindra, u visini jednog hoda spirale / v /, razvit u ravninu, predočuje pravokutnik /$A_1A_2B_1B_2$/ podnice $2r\pi$ i visine v, a spirala poprima oblik pravca u toj ravnini, nagiba α prema horizontali. Ova je dijagonala /A_1B_2/ pravokutnika $A_1A_2B_1B_2$



Slika 39.

Budući da je ta spirala prostorna krivulja, promatra se u prostornom pravokutnom kordinatnom sistemu. Osovine X i Y leže u horizontalnoj ravnini, a vertikalna osovina Z ujedno je i osovina cilindra. Položaj povoljne tačke spirale P u tom sistemu određuju koordinate:

$$X = r\sin\varphi \; ; \quad y = r\cos\varphi \; ; \quad z = r\cdot\varphi\cdot \operatorname{tg}\alpha$$

Prve dvije jednadžbe predočuju kružnicu $x^2+y^2=r^2$,horizontalnu projekciju cilindra,a treća jednadžba predočuje dijagonalu A_1B_2 na razvitom plaštu.

Horizontalna projekcija P' tačke P ,opisujući kružnicu polumjera r ,izvršuje centralno gibanje,za koje vrijedi K e p l e r o v zakon u jednakom vremenu radijusvektor opisuje jednako veliku površinu.Na kružnici je to jedino moguće uz jednoličnо gibanje. Zbog toga mora biti horizontalna projekcija $/ v_h /$ brzine $/ v /$tačke P konstanta : $v_h = c_h$ .Svrsi shodno izrazićemo i kut φ sa tom konstantom:Akc je tačka P'u t vrijeme stigla iz položaja A' u označeni svoj položaj,gibajući se konstantnom brzinom c_h ,onda mora biti

$$c_h \cdot t = r\varphi$$

a odatle:

$$\varphi = \frac{c_h}{r} \cdot t$$

Prve tri jednadžbe mogu se zbog toga pisati i ovako.

$$x = r \sin \frac{c_h}{r} t \; ; \qquad y = r \cos \frac{c_h}{r} t \; ; \qquad z = c_h \cdot t \cdot tg\,\alpha$$

Komponente v_x, v_y i v_z brzine $/ v /$ tačke P u označenim smjerovima koordinatnog sistema dobićemo,ako ove jednadžbe deriviramo po vremenu t .Dakle.

$$v_x = \dot{x} = c_h \cdot \cos \frac{c_h}{r} t = \frac{c_h}{r} \cdot y \; ,$$

$$v_y = \dot{y} = -c_h \cdot \sin \frac{c_h}{r} t = -\frac{c_h}{r} \cdot x \; ,$$

$$v_z = \dot{z} = c_h \cdot tg\,\alpha \; .$$

Brzina v tačke P na spirali mjeri onda:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = \sqrt{\frac{c_h^2}{r^2}(y^2+x^2) + c_h^2 tg^2\alpha} = c_h \sqrt{1+tg^2\alpha} = \frac{c_h}{\cos\alpha} = c \; .$$

Tačka P giba se dakle konstantnom brzinom c na spirali.Vektor te brzine priklonjen je pod kutem α prema horizontali,leži dakle u smjeru tangente spirale.

Iste te jednadžbe,deriviramo po drugi puta,daju komponente akceleracije:

$$a_x = \ddot{x} = \dot{v} = -\frac{\kappa_k^2}{r}\sin\frac{\kappa_k}{r}\cdot t = -\frac{\kappa_k^2}{r^2}x \ ,$$

$$a_y = \ddot{y} = \dot{v} = -\frac{\kappa_k^2}{r}\cos\frac{\kappa_k}{r}\cdot t = -\frac{\kappa_k^2}{r^2}y \ ,$$

$$a_z = \ddot{z} = \dot{v}_z = 0 \ .$$

Akceleracija tačke P mjeri dakle:

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = \frac{\kappa_k^2}{r} \ . \qquad (*)$$

Budući ali mjeri i akceleracija njezine projekcije P' :

$$a_k = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = \frac{\kappa_k^2}{r}$$

izlazi, akceleracija tačke na spirali jednaka je akceleraciji tačke na kružnici, njezinoj horizontalnoj projekciji.

Kružnica nastaje, ako se tačka P' giba konstatnom brzinom κ_k. Akceleracija u smjeru tangente kružnice mora dakle biti $a_{kt} = 0$. U smjeru normale kružnice mjeri onda akceleracija $a_{kn} = a_k = \frac{\kappa_k^2}{r}$.

Komponenta akceleracije u smjeru tangente spirale takodjer je $a_t = 0$, jer se tačka P giba na njoj jednoličnom brzinom $v = \kappa$. Komponenta akceleracije u smjeru normale spirale mjeri pak po općenitom zakonu mehanike, ako ϱ označuje polumjer krivosti spirale u tački P .

$$a_n = \frac{v^2}{\varrho} = \frac{\kappa^2}{\varrho} = \frac{\kappa_k^2}{\varrho\cos^2\alpha} \ .$$

Ukupna akceleracija na spirali mjeri onda

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} = a_n = \frac{\kappa_k^2}{\varrho\cos^2\alpha} \ .$$

Isporedi li se ovaj rezultat sa prije izračunatim pod / * /izlazi veza, koja postoji izmedju polumjera krivosti spirale / ϱ / i polumjera kružnice / r /, njezine projekcije:

$$\frac{\kappa_k^2}{r} = \frac{\kappa_k^2}{\varrho\cos^2\alpha} \ ; \qquad \underline{\varrho = \frac{r}{\cos^2\alpha}} \qquad 19.)$$

Komponente X i Y sile N_k, koje će prisiliti neteško tijelo, da opisuje kružnicu u prostoru, treba dakle da zadovoljavaju jednadžbe.

$$X = m \cdot a_x = -m \cdot \frac{c_k^2}{r^2} x$$

$$Y = m \cdot a_y = -m \cdot \frac{c_k^2}{r^2} y$$

iz kojih izlazi:

$$N_k = \sqrt{X^2 + Y^2} = \frac{m \cdot c_k^2}{r} = \frac{m \cdot c^2 \cdot \cos\alpha}{r} .$$

Komponente X, Y i Z sile N, koja će prisiliti neteško tijelo, da opisuje cilindričku spiralu u prostoru treba pak da zadovoljavaju jednadžbe:

$$X = m \cdot a_x = -m \cdot \frac{c_k^2}{r^2} x$$

$$Y = m \cdot a_y = -m \cdot \frac{c_k^2}{r^2} y$$

$$Z = m \cdot a_z = 0$$

iz kojih izlazi:

$$N = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} = \sqrt{X^2 + Y^2} = N_k = \frac{m \cdot c^2 \cdot \cos^2\alpha}{r} . \qquad 20.)$$

Tijelo opisuje dakle cilindričnu spiralu u prostoru, konstantnog uzdužnog nagiba α, ako posjeduje u smjeru spirale konstantnu brzinu c, a sve sile, koje djeluju na nj, ako ne rezultiraju nego rezultantu N jednaku centripetalnoj sili kružnice, baze cilindra te spirale.

U vezi sa ovim razlaganjem izlazę još njeka geometrijska svojstva ove spirale. Svaka njezina tangenta leži u vertikalnoj ravnini, a priklonjena je prema horizontalnoj ravnini pod kutem nagiba spirale α. Prvo zato, jer tangenta tangira i cilindar, a drugo zato, jer je njezin nagib jednak nagibu vektora brzine v prema horizontalnoj ravnini, a taj mjeri: $\frac{v_z}{v_k} = \frac{c_z \cdot tg\alpha}{c_k} = tg\alpha$.

Smjer centripetalne sile N je horizontalan i uperen prema osovini cilindra, te se pokriva sa smjerom normale u svakoj tački spirale. Ravnina krivosti spirale zatvara isti kut α sa horizontalnom ravninom, jer tu ravninu odredjuju tangenta i normala /okomica na tangentu/. Polumjer krivosti leži u normali.

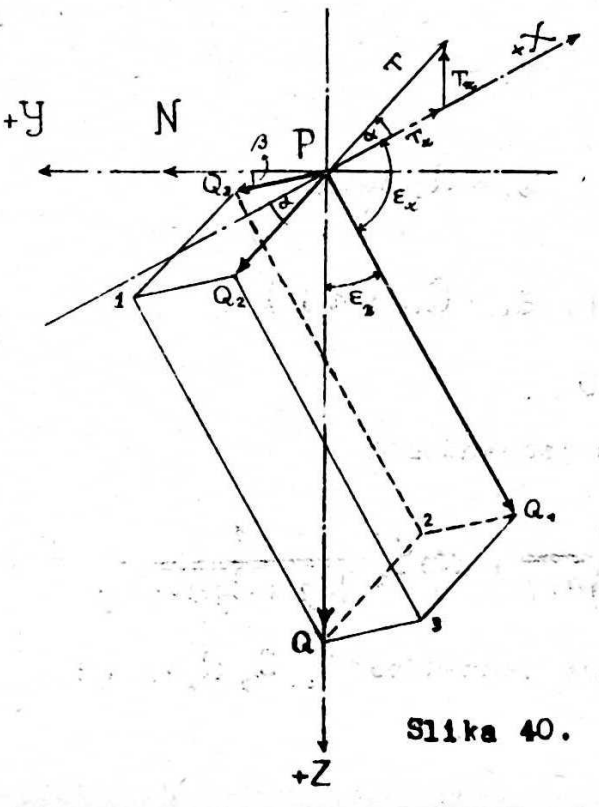
γ.) Uvjeti uz koje teško tijelo klizi jednoličnom brzinom na klizini trasiranoj u liniji cilindrične spirale.

Koristeći se izvodom prijašnje tačke možemo unaprijed reći u ovom slučaju: Tijelo treba da ulazi u spiralu i da klizi u njoj konstantnom brzinom v_a, a sve sile, koje djeluju na nj, treba da rezultiraju tek horuzontalnu centripetalnu silu, uperenu prema osovini cilindra spirale /isp.form.20, za $\rho = v_a$/:

$$N = \frac{m \cdot v_a^2}{\rho} = \frac{m \cdot v_a^2 \cdot \cos^2\alpha}{r} \quad . \qquad 21.)$$

Da se to zbude treba da su ispunjeni izvjesni uvjeti, koje želimo pronaći.-

Na tijelo djeluju ove sile: Vlastita težina Q, otpor /reakcija/ podloge W i trenje μW. Sve te sile zamišljamo u istom hvatištu, u težištu tijela P. Promatramo ih pak u prostornom koordinatnom sistemu sa ishodištem takodjer u težištu tijela P, koje opisuje cilindričnu spiralu /sl.40/. Osovina Z neka se pokriva sa vektorom težine tijela Q. Vertikalna ravnina YZ neka je ujedno i radijalna ravnina, a vertikalna ravnina XZ tangecijalna ravnina cilindra spirale. Ravnina XY neka je horizontalna. Ovako odabrane ravnine stoje okomito jedna na drugoj, odabrani koordinatni sistem je dakle pravokutan.



Slika 40.

Podloga, na kojoj klizi tijelo, izvedena je u konstatnom uzdužnom nagibu α, a treba da ima i izvjestan poprečan nagib β, zbog djelovanja centrifugalne sile. Poradi toga rastavljamo najprije težinu tijela Q u tri komponente: U komponentu Q_3, koja djeluje u radijalnoj ravnini YZ, a nastoji gibati tijelo u smjeru poprečnog nagiba β; u komponentu Q_1, koja djeluje u tangecijalnoj ravnini XZ, a nas-

toji gibati tijelo u smjeru uzdužnog nagiba α, pa u komponentu Q_1, koja nema kinetičkog nastojanja, nego tek pritiskuje tijelo na podlogu, djeluje dakle okomito na nju, t.j. okomito na ravninu, koju odredjuju vektori Q_2 i Q_3.

Ako još dodani indeksi x, y i z označuju projekcije tih komponenata na istoimene osovine, a $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ i ε_z kuteve priklona komponente Q_1 prema tim osovinama, onda stoje ove jednadžbe:

$$Q_{1x} = Q_1 \cdot \cos\varepsilon_x \qquad Q_{1y} = Q_1 \cdot \cos\varepsilon_y \qquad Q_{1z} = Q_1 \cdot \cos\varepsilon_z$$

$$Q_{2x} = -Q_2 \cdot \cos\alpha \qquad Q_{2y} = 0 \qquad Q_{2z} = Q_2 \cdot \sin\alpha$$

$$Q_{3x} = 0 \qquad Q_{3y} = Q_3 \cdot \cos\beta \qquad Q_{3z} = Q_3 \cdot \sin\beta$$

$$Q_x = Q_{1x} + Q_{2x} + Q_{3x} = Q_1 \cdot \cos\varepsilon_x - Q_2 \cdot \cos\alpha = 0$$

$$Q_y = Q_{1y} + Q_{2y} + Q_{3y} = Q_1 \cdot \cos\varepsilon_y + Q_3 \cdot \cos\beta = 0$$

$$Q_z = Q_1 \cdot \cos\varepsilon_z + Q_2 \cdot \sin\alpha + Q_3 \cdot \sin\beta = Q .$$

Kutevi $\varepsilon_x, \varepsilon_y$ i ε_z ujedno su ali i kutevi priklona ravnine PQ_2Q_3 prema osovinama XYZ. Jednadžba ravnine, koja prolazi tačkama:

$$P\,(x_1 = 0; \quad y_1 = 0; \quad z_1 = 0)$$

$$Q_2\,(x_2 = -Q_2 \cos\alpha; \quad y_2 = 0; \quad z_2 = Q_2 \cdot \sin\alpha)$$

$$Q_3\,(x_3 = 0; \quad y_3 = Q_3 \cdot \cos\beta; \quad z_3 = Q_3 \cdot \sin\beta)$$

glasi pak $\quad x \cdot tg\alpha - y \cdot tg\beta + z = 0$,

a njezine kuteve priklona odredjuju jednadžbe:

$$\cos\varepsilon_x = \frac{tg\alpha}{\sqrt{tg^2\alpha + tg^2\beta + 1}}; \quad \cos\varepsilon_y = -\frac{tg\beta}{\sqrt{tg^2\alpha + tg^2\beta + 1}}; \quad \cos\varepsilon_z = \frac{1}{\sqrt{tg^2\alpha + tg^2\beta + 1}}. \qquad 22.)$$

Uvrste li se ove vrijednosti u gornje jednadžbe Q_x, Q_y, Q_z izlazi najprije.

$$\frac{Q_1 \cdot tg\alpha}{\sqrt{tg^2\alpha+tg^2\beta+1}} - \frac{Q_2}{\sqrt{1+tg^2\alpha}} = 0; \quad - \frac{Q_1 \cdot tg\beta}{\sqrt{tg^2\alpha+tg^2\beta+1}} + \frac{Q_3}{\sqrt{1+tg^2\beta}} = 0;$$

$$\frac{Q_1}{\sqrt{tg^2\alpha+tg^2\beta+1}} + \frac{Q_2\, tg\alpha}{\sqrt{tg^2\alpha+tg^2\beta+1}} + \frac{Q_3\, tg\beta}{\sqrt{1+tg^2\beta}} = Q;$$

$$\left.\begin{aligned} Q_1 &= \frac{Q}{\sqrt{1+tg^2\alpha+tg^2\beta}} \\ Q_2 &= \frac{Q\sqrt{1+tg^2\alpha}\cdot tg\alpha}{1+tg^2\alpha+tg^2\beta} \\ Q_3 &= \frac{Q\sqrt{1+tg^2\beta}\cdot tg\beta}{1+tg^2\alpha+tg^2\beta} \end{aligned}\right\} \quad 23.)$$

U svrhu olakšanja daljnjeg računa obilježujemo kvocijenat $Q_2 : Q_1$ ukratko sa grčkim slovom ν . Dakle :

$$\nu = \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{tg\alpha\sqrt{1+tg^2\alpha}}{\sqrt{1+tg^2\alpha+tg^2\beta}} = \frac{tg\alpha}{\sqrt{1+tg^2\alpha+tg^2\beta}} \quad . \qquad 24.)$$

Taj kvocijenat ν zovemo <u>kvocijentom nagiba</u> jer je tek funkcija jednog (α) i drugog (β) nagiba klizine.

Formule 23./ mogu se onda pisati i ovako :

$$\cos\varepsilon_x = \nu\cos\alpha \; ; \quad \cos\varepsilon_y = -\nu\cos\alpha\,\frac{tg\beta}{tg\alpha} \; ; \quad \cos\varepsilon_z = \nu\,\frac{\cos\alpha}{tg\alpha} \quad . \qquad 22a.)$$

Otpor podloge W djeluje jednako kao i komponenta Q_1 okomito na podlogu, no razlikuje se od nje općenito po veličini i predznaku. Njegove su dakle komponente :

$$\left.\begin{aligned} W_x &= -W\cos\varepsilon_x = -W\nu\cos\alpha \\ W_y &= -W\cos\varepsilon_y = W\nu\cos\alpha\,\frac{tg\beta}{tg\alpha} \\ W_z &= -W\cos\varepsilon_z = -W\nu\,\frac{\cos\alpha}{tg\alpha} \end{aligned}\right\} \quad 25.)$$

Trenje $T = \mu W$ djeluje uvijek u suprotnom smjeru gibanja, dakle u suprotnom smjeru komponente Q_2 . Komponente trenja su onda :

$$T_x = \mu W\cos\alpha \; ; \quad T_y = 0 \; ; \quad T_z = -\mu W\sin\alpha \quad .$$

Rečeno je bilo, sve sile, koje djeluju na tijelo ne mogu rezultirati nego centripetalnu silu N . Komponente sila Q, W i $T=\mu W$ treba dakle da zadovoljavaju jednadžbe :

$$Q_x + W_x + T_x = N_x = 0$$

$$Q_y + W_y + T_y = N_y = N$$

$$Q_z + W_z + T_z = N_z = 0$$

ili, nakon uvrštenja njihovih vrijednosti :

$$-Wr\cos\alpha + \mu W\cos\alpha = 0 ,$$

$$Wr\cos\alpha\frac{tg\beta}{tg\alpha} = N ,$$

$$Q - Wr\frac{\cos\alpha}{tg\alpha} - \mu W\sin\alpha = 0 .$$

Iz prve jednadžbe slijedi neposredno :

$$r = \mu . \qquad 26.)$$

Treća jednadžba poprima zbog toga oblik :

$$Q - \mu W\frac{\cos\alpha}{tg\alpha} - \mu W\sin\alpha = 0$$

iz koje slijedi :

$$\mu W = Q\sin\alpha . \qquad 27.)$$

Iz druge jednadžbe slijedi konačno :

$$N = Q\cos^2\alpha\, tg\beta . \qquad 28.)$$

Traženi uvjeti jednoličnog klizanja na putoklizini u krivulji izvode se pak kako slijedi :

Iz jednadžbe 21./ i 28./ izlazi najprije :

$$Q\cos^2\alpha\, tg\beta = \frac{m v_a^2\cos^2\alpha}{r} , \text{ ili jer je } Q = mg :$$

$$tg\beta = \frac{v_a^2}{r} . \qquad 29.)$$

Ova jednadžba odredjuje poprečan nagib klizine / u smjeru radiusa r cilindra spirale / .

Iz jednadžbi 24./ i 26./ slijedi nadalje jednadžba :

$$\mu = \frac{\sqrt{1+tg^2\alpha}\cdot tg\alpha}{\sqrt{1+tg^2\alpha+tg^2\beta}} = \frac{tg\alpha}{\sqrt{1+\cos^2\alpha\cdot tg^2\beta}} \qquad 30.)$$

koja se može pisati i u obliku :

$$tg\beta = \frac{\sqrt{tg^2\alpha-\mu^2}}{\mu\cos\alpha} \; . \qquad 30a.)$$

Iz jednadžbe 30./ izlazi pak formula, koja odredjuje uzdužan nagib klizine :

$$tg^2\alpha = \sqrt{(\mu tg\beta)^2+\left(\frac{1+\mu^2}{2}\right)^2} - \frac{1-\mu^2}{2} \; . \qquad 31.)$$

Namjesto ove tačne formule, može poslužiti približna formula, koja izlazi iz tačne, ponovnom upotrebom prvih dvaju članova binomskog stavka :

$$tg\alpha = \mu\left[1+\frac{tg^2\beta}{2(1+\mu^2)}\right] \; . \qquad 31a.)$$

Izjednači li se konačno jednadžba 29./ i 30a./ izlazi :

$$v_a^2 = \frac{rg}{\cos\alpha}\cdot\frac{\sqrt{tg^2\alpha-\mu^2}}{\mu} \; . \qquad 33.)$$

Uvjeti, uz koje će teško tijelo opisati cilindričnu spiralu, stalnog uzdužnog nagiba α , klizeći <u>jednoličnom</u> brzinom na hrapavoj podlozi su dakle ovi :

Podloga treba da ima uzdužan nagib α u smjeru spirale i poprečan nagib β u smjeru radija cilindra. Poprečan nagib treba da zadovoljava jednadžbu 29./, a koeficijenat trenja treba da je jednak koeficijentu nagiba / form. 24,26,30,30a./.-

Svakoj vrijednosti koeficijenta trenja odgovara dakle tek jedna vrijednost početne brzine v_a, s kojom će teško tijelo opisati cilindričnu spiralu, klizući <u>jednolično</u> na podlozi, odredjenog uzdužnog i poprečnog nagiba.

Formulu 33./, koja odredjuje tu jednoličnu ili t.zv. <u>stacionarnu</u> brzinu $v_a = c$, bilježimo s toga u daljnjem u obliku :

$$c^2 = k\sqrt{\left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2-1} \; , \qquad 33a.)$$

a faktor $$k = \frac{r g}{\cos\alpha}, \qquad 33b.)$$

jer zavisi samo o liniji klizine, zovemo konstantom klizine.

Primjer 1. Polumjer luka kružnice neke klizine mjeri u situaciji $r = 100\,m$. Uzdužan nagib iznosi $tg\alpha = 0{,}3$. Klizina je izvedena u obliku žlijeba, sa promjenljivim poprečnim nagibom $0 \leqq tg\beta \leqq 1$. Uz koje će uvjete kliziti teško tijelo u toj klizini jednoličnom brzinom ?

Iz jednadžbe 30./ slijedi :

$$\mu = \frac{0{,}3\sqrt{1+0{,}3^2}}{\sqrt{1+0{,}3^2+tg^2\beta}} = \frac{0{,}31321}{\sqrt{1{,}09+tg^2\beta}} .$$

Za $tg\beta = 0$, biće $\mu = tg\alpha = 0{,}30$, a za $tg\beta = 1$ je $\mu = 0{,}217$.

Koeficijenat trenja može se dakle kretati tek u granicama :

$$0{,}217 \leqq \mu < 0{,}30 .$$

Konstanta klizine mjeri / iz formule 33 b. / :

$$k = \frac{100 \times 9{,}81}{0{,}95782} = 1024{,}2 ,$$

a stacionarna brzina / iz formule 33 a. / :

$$c^2 = 1024{,}2\sqrt{\left(\frac{0{,}3}{\mu}\right)^2 - 1} .$$

Poprečan nagib računa se iz formule 29./ :

$$tg\beta = \frac{c^2}{100 \times 9{,}81} = \frac{c^2}{981} .$$

Pregled računa daje ova skrižaljka :

$\mu =$	0,217	0,22	0,24	0,26	0,28	0,29	0,30
$c =$	31,3	30,8	27,7	24,3	19,8	16,5	0 m/sec
$tg\beta =$	1,0	0,968	0,783	0,601	0,402	0,277	0

Uz malenu stacionarnu brzinu ($c < 16{,}5\ m/sec$) koeficijenat trenja malo se razlikuje od uzdužnog nagiba klizine.

Primjer 2. Ako unatrag računamo uzdužan nagib, mora izaći $tg\alpha = 0{,}30$ koordinirane za sve vrijednosti μ i $tg\beta$ prvog primjera. Izradit ćemo taj račun po približnoj formuli 31a./, da se vidi, kojom točnošću radi. Dakle :

$$tg\alpha = \mu \left[1 + \frac{tg^2\beta}{2(1+\mu^2)} \right]$$

μ	0,217	0,22	0,24	0,26	0,28	0,29	0,30
$tg\beta$	1,0	0,968	0,783	0,601	0,402	0,277	0
$tg\alpha$	0,32	0,32	0,31	0,30	0,30	0,30	0,30

Rezultat je to tačniji, što je manja razlika izmedju uzdužnoga nagiba i koeficijenta trenja.

Napomena. U pravcu klizi drvo u dnu, a u krivulji na obali žlijeba : uz jednoličnu brzinu jednako visoko nad dnom, uvijek na mjestu istog nagiba β , od početka pa do kraja spirale. Iz dna pomiče se pak drvo postepeno na obalu žlijeba, na mjesto nagiba β, u prelaznoj krivulji. Zbog toga prelazna krivulja ne može izostati na prelazu žlijeba iz pravca u spira lu.

δ.) Mijena brzine u žlijebu, trasiranom u luku cilindričke spirale .

Vidjeli smo u prijašnjoj tačci, teško tijelo prolazi lijepo, jednoličnom brzinom, takovim žlijebom, ako njegova brzina na početku luka zadovoljava jednadžbu 33./, a koeficijenat trenja, ako se nalazi u intervalu odredjenom jednadžbom 30./ . Jer takav žlijeb ima u punoj mjeri sva svojstva podloge / potreban uzdužan i poprečan nagib/ zbog koje je tijelo prisiljeno, da opisuje sa linijom žlijeba sukladnu spiralu. No ima još i više. Jer žlijeb ne djeluje samo kao podloga, nego i kao povod / Führung /, pa sili teško tijelo, da slijedi njegovu liniju i onda kad početna brzina ne zadovoljava spomenutu jednadžbu 33./ . U tom slučaju ali tijelo ne će kliziti jednolično, a kako mu se brzina mjenja, raspravlja se u ovoj tačci.-

Kad se ispituje ovakva i slična gibanja, postupa se u mehanici po D' Alambertu tako, da se svim stvarnim silama, koje djeluju na tijelo, dodaju još pomoćne sile tromosti : tangencijalna sila $\mathcal{T}$ i centrifugalna sila $\mathcal{N}$ tako, da je tijelo pod djelovanjem svih tih sila uravnoteženo .

Analogno kao prije / tačka γ , sl. 40. / na ovakovo tijelo djeluju :

Vlastita težina Q sa komponentama $Q_x = 0;\ Q_y = 0;\ Q_z = Q$.

Reakcija podloge W sa komponentama / jednadžba 25. / :

$$W_x = -W r \cos\alpha ,$$

$$W_y = W r \cos\alpha \frac{tg\beta}{tg\alpha} ,$$

$$W_z = -W r \frac{\cos\alpha}{tg\alpha} ;$$

Trenje $T = \mu W$ sa komponentama :

$$T_x = \mu W \cos\alpha;\ T_y = 0 ;\ T_z = -\mu W \sin\alpha .$$

Komponente pomoćne tangencijalne sile tromosti $\mathcal{T}$ su :

$$\mathcal{T}_x = \mathcal{T}\cos\alpha ;\quad \mathcal{T}_y = 0 ;\quad \mathcal{T}_z = -\mathcal{T}\sin\alpha .$$

Druga pomočna sila, centrifugalna sila $\mathcal{N}$ je horizontalna sila, jer tijelo treba da opisuje cilindričku spiralu. Njezine su dakle komponente : $\mathcal{N}_x = 0;\ \mathcal{N}_y = -\mathcal{N} ;\ \mathcal{N}_z = 0 .$

Sve te sile moraju biti uravnotežene :

$$Q_x + W_x + T_x + \mathcal{T}_x + \mathcal{N}_x = 0$$

$$Q_y + W_y + T_y + \mathcal{T}_y + \mathcal{N}_y = 0$$

$$Q_z + W_z + T_z + \mathcal{T}_z + \mathcal{N}_z = 0$$

ili :

$$-W r \cos\alpha + \mu W \cos\alpha + \mathcal{T}\cos\alpha = 0$$

$$W\nu\cos\alpha\frac{tg\beta}{tg\alpha} - \mathcal{N} = 0$$

$$Q - W\nu\frac{\cos\alpha}{tg\alpha} - \mu W\sin\alpha - \mathcal{T}\sin\alpha = 0$$

Iz prve jednadžbe izlazi :

$$\mathcal{T} = (\nu - \mu)W \; . \qquad 34.)$$

Iz treće jednadžbe slijedi zatim :

$$Q - W\nu\frac{\cos\alpha}{tg\alpha} - \mu W\sin\alpha - (\nu-\mu)W\sin\alpha = 0$$

$$W = Q\frac{\sin\alpha}{\nu} . \qquad 35.)$$

Dakle je : $\mathcal{T} = Q\left(1 - \frac{\mu}{\nu}\right)\sin\alpha$. 34a.)

Druga jednadžba daje konačno :

$$\mathcal{N} = Q\cos^2\alpha\, tg\beta \; . \qquad 36.)$$

Akceleracija teškog tijela, u smjeru tangente spirale izlazi iz jednadžbe 34a./, ako ju podijelimo sa masom tijela :

$$a_t = \frac{\mathcal{T}}{m} = g\left(1 - \frac{\mu}{\nu}\right)\sin\alpha \; . \qquad 37.)$$

Uzme li se pak u obzir, da je takodjer / isporedi form.21./ :

$$\mathcal{N} = \frac{m v^2 \cos^2\alpha}{\rho} ,$$

izlazi konačno iz jednadžbe 36./ :

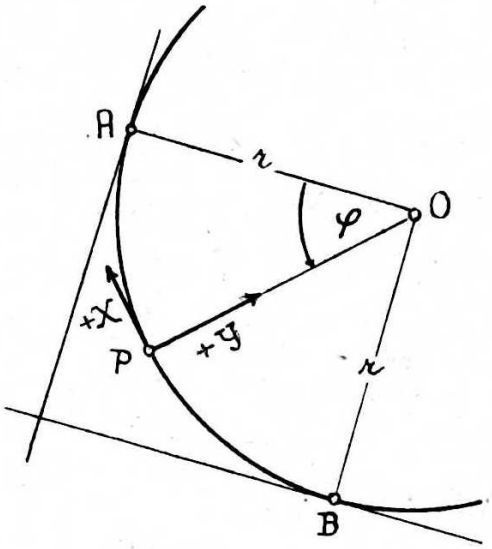
$$tg\beta = \frac{v^2}{g\rho} \; . \qquad 38.)$$

Akceleracija a_t može biti pozitivna, jednaka nuli ili negativna, već prema tome da li je

$$1 - \frac{\mu}{\nu} \gtreqless 0 \; ; \quad \nu - \mu \gtreqless 0 \; .$$

Tijelo može dakle da klizi sve većom, jednoličnom ili sve manjom brzinom u takovom žlijebu. Ako je koeficijenat trenja jednak koeficijentu nagiba $\mu = \nu$, nastupa slučaj raspravljen u prijašnjoj tački. Akceleracija jednaka je ništici ($a_t = 0$), a tijelo se giba stacionarnom brzinom, koju smo već odredili sa jednadžbom 33a./.-

Općenito bit će ali $a_t \gtrless 0$. U svrhu odredjenja brzine tijela u takovom slučaju, promatramo klizanje u horizontalnoj projekciji. Putanja tijela pokazuje u toj projekciji luk kružnice, koji se pokriva, dovoljno tačno u naše svrhe, sa horizontalnom projekcijom osovine žlijeba. / sl. 41./ .Dok je težište tijela stiglo od tačke A_1



Slika 41 .

/ početak luka / do povoljne tačke luka P, opisalo je u horizontalnoj projekciji luk $s_h = r\varphi$. Odgovarajući luk spirale mjeri :

$$s = \frac{r\varphi}{\cos\alpha} ,$$

jer je $s_h = s\cos\alpha$ / isp. sl. 39. $s = A_1P$ /

Dakle je :

$$ds = \frac{r}{\cos\alpha} d\varphi .$$

Nadalje je općenito / isp.form.2 /:

$$v dv = a_t \cdot ds = a_t \frac{r}{\cos\alpha} d\varphi . \qquad 39.)$$

ili u ovom slučaju, ako se za akceleraciju a_t uvrsti njezina vrijednost iz jednadžbe 37./, pa još uzme u obzir jednadžba 33 b./ konstanta klizine / :

$$v dv = g\left(1 - \frac{\mu}{V}\right)\sin\alpha \frac{r}{\cos\alpha} d\varphi = k\left(1 - \frac{\mu}{V}\right)\sin\alpha \, d\varphi .$$

Budući je ali $d(v^2) = 2v dv$, ova se jednažba može pisati u obliku :

$$\frac{d\left(\frac{v^2}{k}\right)}{1 - \frac{\mu}{V}} = 2\sin\alpha \, d\varphi . \qquad 39a.)$$

Imali smo jednadžbu 38./ :

$$tg\beta = \frac{v^2}{gr} . \text{ Dakle je } \quad \cos\alpha \, tg\beta = \frac{v^2}{k} . \qquad 40.)$$

Koeficijenat nagiba / form. 24./ može se onda izraziti i ovako :

$$V = \frac{tg\alpha}{\sqrt{1 + \cos^2\alpha \, tg^2\beta}} = \frac{tg\alpha}{\sqrt{1 + \left(\frac{v^2}{k}\right)^2}} . \qquad 40.)$$

pak je dalje :

$$1 - \frac{\mu}{V} = 1 - \frac{\mu}{tg\alpha}\sqrt{1 + \left(\frac{v^2}{k}\right)^2} = \frac{\mu}{tg\alpha}\left[\frac{tg\alpha}{\mu} - \sqrt{1 + \left(\frac{v^2}{k}\right)^2}\right]$$

Naša jednadžba 39a./ prelazi onda u oblik :

$$\frac{d\left(\frac{v^2}{k}\right)}{\frac{tg\alpha}{\mu} - \sqrt{1 + \left(\frac{v^2}{k}\right)^2}} = 2\mu\cos\alpha \, d\varphi . \qquad 41.)$$

Desna strana ove jednadžbe može se svesti na racionalan oblik, ako se stavi :

$$t = \frac{v^2}{k} + \sqrt{1 + \left(\frac{v^2}{k}\right)^2} . \qquad 42.)$$

Onda je :

$$\frac{v^2}{k} = \frac{t^2 - 1}{2t} ; \qquad \sqrt{1 + \left(\frac{v^2}{k}\right)^2} = \frac{t^2 - 1}{2t} ;$$

$$d\left(\frac{v^2}{k}\right) = \frac{t^2+1}{2t^2}\,dt$$

Supstituiraju li se ove vrijednosti u jednadžbu 41./ izlazi :

$$\frac{(t^2+1)\,dt}{t\left(t^2-2\frac{tg\alpha}{\mu}t+1\right)} = -2\mu\cos\alpha\,d\varphi \quad . \qquad 43)$$

Pravu slomljenu racionalnu funkciju s desne strane jednadžbe rastavljamo u parcijalne slomke. Najprije je

$$t^2-2\frac{tg\alpha}{\mu}t+1 = \left[t-\frac{tg\alpha}{\mu}+\sqrt{\left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2-1}\right]\left[t-\frac{tg\alpha}{\mu}-\sqrt{\left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2-1}\right],$$

a onda stavimo :

$$\frac{t^2+1}{t\left(t^2-2\frac{tg\alpha}{\mu}t+1\right)} = \frac{A}{t}+\frac{B}{t-\frac{tg\alpha}{\mu}-\sqrt{\left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2-1}}+\frac{C}{t-\frac{tg\alpha}{\mu}+\sqrt{\left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2-1}}$$

$$t^2+1 = A\left(t^2-2\frac{tg\alpha}{\mu}t+1\right)+Bt\left[t-\frac{tg\alpha}{\mu}+\sqrt{\left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2-1}\right]+Ct\left[t-\frac{tg\alpha}{\mu}-\sqrt{\left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2-1}\right].$$

Za $t=0$ izlazi iz ove jednadžbe $A=1$.

Za $t=\frac{tg\alpha}{\mu}+\sqrt{\left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2-1}$

ili $t^2=\left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2+2\frac{tg\alpha}{\mu}\sqrt{\left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2-1}+\left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2-1$

ili $t^2=2\frac{tg\alpha}{\mu}\left[\frac{tg\alpha}{\mu}+\sqrt{\left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2-1}\right]-1$

izlazi iz iste jednadžbe :

$$2\frac{tg\alpha}{\mu}\left[\frac{tg\alpha}{\mu}+\sqrt{\left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2-1}\right] = 2B\left[\frac{tg\alpha}{\mu}+\sqrt{\left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2-1}\right]\sqrt{\left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2-1}$$

$$B = \frac{\frac{tg\alpha}{\mu}}{\sqrt{\left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2-1}}$$

Ili, jer je obzirom na jednažbu 33a./ $\frac{c^2}{k}=\sqrt{\left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2-1}$:

$$B = \frac{tg\alpha}{\mu}\cdot\frac{k}{c^2}.$$

Stavi li se konačno još $t=\frac{tg\alpha}{\mu}-\sqrt{\left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2-1}$

ili $t^2=2\frac{tg\alpha}{\mu}\left[\frac{tg\alpha}{\mu}-\sqrt{\left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2-1}\right]-1$ izlazi :

$$2\frac{tg\alpha}{\mu}\left[\frac{tg\alpha}{\mu}-\sqrt{\left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2-1}\right] = -2C\left[\frac{tg\alpha}{\mu}-\sqrt{\left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2-1}\right]\sqrt{\left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2-1}$$

$$C = -\frac{\frac{tg\alpha}{\mu}}{\sqrt{\left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2 - 1}} = -\frac{tg\alpha}{\mu}\cdot\frac{k}{c^2} = -B \cdot$$

Diferencijalna jednažba 43./ poprima sada oblik :

$$\frac{A\,dt}{t} + \frac{B\,dt}{t - \frac{tg\alpha}{\mu} - \frac{c^2}{k}} - \frac{B\,dt}{t - \frac{tg\alpha}{\mu} + \frac{c^2}{k}} = -2\mu\cos\alpha\, d\varphi ,$$

te se može lako riješiti integriranjem :

$$A\int\frac{dt}{t} + B\left[\int\frac{dt}{t - \frac{tg\alpha}{\mu} - \frac{c^2}{k}} - \int\frac{dt}{t - \frac{tg\alpha}{\mu} + \frac{c^2}{k}}\right] = -2\mu\cos\alpha\int d\varphi$$

$$\ln t + \frac{tg\alpha}{\mu}\cdot\frac{k}{c^2}\ln\frac{t - \frac{tg\alpha}{\mu} - \frac{c^2}{k}}{t - \frac{tg\alpha}{\mu} + \frac{c^2}{k}} = -2\mu\varphi\cos\alpha + Const.$$

$$\ln\left\{ t\left[\frac{t - \frac{tg\alpha}{\mu} - \frac{c^2}{k}}{t - \frac{tg\alpha}{\mu} + \frac{c^2}{k}}\right]^{\frac{tg\alpha}{\mu}\cdot\frac{k}{c^2}}\right\} = -2\mu\varphi\cos\alpha + Const.$$

$$t\left[\frac{t - \frac{tg\alpha}{\mu} - \frac{c^2}{k}}{t - \frac{tg\alpha}{\mu} + \frac{c^2}{k}}\right]^{\frac{tg\alpha}{\mu}\cdot\frac{k}{c^2}} = -\mathcal{C}\cdot e^{-2\mu\varphi\cos\alpha}$$

Integracionu konstantu $\mathcal{C}$ odredjujemo na ovaj način. Na početku luka, za $\varphi = 0$, neka promjenljivica t poprimi vrijednost t_a .

Onda je :

$$\mathcal{C} = t_a\left[\frac{t_a - \frac{tg\alpha}{\mu} - \frac{c^2}{k}}{t_a - \frac{tg\alpha}{\mu} + \frac{c^2}{k}}\right]^{\frac{tg\alpha}{\mu}\cdot\frac{k}{c^2}}$$

Jednadžba brzine poprima pak konačan oblik :

$$t\left[\frac{t-\frac{tg\alpha}{\mu}-\frac{c^2}{k}}{t-\frac{tg\alpha}{\mu}+\frac{c^2}{k}}\right]^{\frac{tg\alpha}{\mu}\frac{k}{c^2}} = t_a\left[\frac{t_a-\frac{tg\alpha}{\mu}-\frac{c^2}{k}}{t_a-\frac{tg\alpha}{\mu}+\frac{c^2}{k}}\right]^{\frac{tg\alpha}{\mu}\cdot\frac{k}{c^2}} \cdot e^{-2\mu\varphi\cos\alpha} \quad 44.)$$

U ovoj formuli označuje :

$$t = \frac{v^2}{k} + \sqrt{1+\left(\frac{v^2}{k}\right)^2} \;;$$

$$t_a = \frac{v_a^2}{k} + \sqrt{1+\left(\frac{v_a^2}{k}\right)^2} \;;$$

$$\frac{c^2}{k} = \sqrt{\left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2 - 1} \;;$$

$tg\alpha$ uzdužan nagib žlijeba;

μ koeficijenat trenja ;

$k = \frac{rg}{\cos\alpha}$ konstantu klizine ;

φ centrični kut luka kružnice ;

kojega je tijelo opisalo / u horizontalnoj projekciji / od početka luka pa do mjesta, na kojem se traži njegova brzina v.

Na početku luka imalo je tijelo brzinu v_a, a c je stacionarna brzina, definirana jednadžbom 33a./ .-

Ova se jednadžba može upotrijebiti ali samo u slučaju :

$$\frac{tg\alpha}{\mu} > 1 \quad \text{ili} \quad tg\alpha > 1$$

Nije li naime $\frac{tg\alpha}{\mu}$ nepravi slomak , $\frac{c^2}{k}$ biće imaginarno, a cijela formula izgubi praktički smisao .

Stavi li se analogno :

$$t_c = \frac{c^2}{k} + \sqrt{1+\left(\frac{c^2}{k}\right)^2} \quad 45.)$$

biće $\frac{c^2}{k} = \frac{t_c^2-1}{2t_c}$ i $\frac{tg\alpha}{\mu} = \frac{t_c^2+1}{2t_c}$. 46.)

Jednadžba 44./ može se zbog toga pisati i ovako :

$$t\left[\frac{t-t_c}{t\,t_c-1}\right]^{\frac{t_c^2+1}{t_c^2-1}} = t_a\left[\frac{t_a-t_c}{t_a t_c-1}\right]^{\frac{t_c^2+1}{t_c^2-1}} \cdot e^{-2\mu\varphi\cos\alpha} \quad (\text{ako je } t_a > t_c) \; . \quad 44a.)$$

$$t\left[\frac{t_c-t}{t_c t-1}\right]^{\frac{t_a^2+1}{t_a^2-1}} = t_a\left[\frac{t_a-t_a}{t_c t_a-1}\right]^{\frac{t_c^2+1}{t_c^2-1}} \cdot e^{-2\mu\varphi\cos\alpha} \quad (\text{ako je } t_c > t_a) \; . \quad 44b.)$$

Desna strana ove jednadžbe jednaka je ništici, ako je

1.) $t_a = t_c$ ili $v_a = c$; 2.) ako je $\varphi \to \infty$.

U oba slučaja mora biti $t = t_c$ ili $v = c$, da bude i lijeva strana jednadžbe jednaka nuli. To znači : u prvom slučaju tijelo će se giba ti jednoličnom brzinom $v = c$, a u drugom slučaju, tijelo će se gibati sve polaganije / 44a./ ili sve brže / 44 b./ dok mu brzina ne spane ili ne naraste na brzinu c . Računski doduše u beskonačnosti, uistinu ipak u skoroj konačnosti .

U horizontalnom luku takove klizine je nagib $tg\alpha = 0$. Onda je takodjer t^2+1 / jednadžba 46./ dakle i eksponent u jednadžbama 44 a./ i 44 b./ jednak nuli. U horizontalnom žlijebu, savitom u luk kružnice, mijenja se dakle brzina tijela po zakonu :

$$t = t_a \cdot e^{-2\mu\varphi} \quad (tg\alpha = 0) \; . \qquad 47.)$$

/ oznake vidi ispod formule 44./

Uspinje li se žlijeb u luku kružnice, $tg\alpha$ biće negativan, jednadžba 44./ poprima oblik :

$$t\left[\frac{t+\frac{tg\alpha}{\mu}+\frac{c^2}{k}}{t+\frac{tg\alpha}{\mu}-\frac{c^2}{k}}\right]^{\frac{tg\alpha}{\mu}\cdot\frac{k}{c^2}} = t_a\left[\frac{t_a+\frac{tg\alpha}{\mu}+\frac{c^2}{k}}{t_a+\frac{tg\alpha}{\mu}-\frac{c^2}{k}}\right]^{\frac{tg\alpha}{\mu}\cdot\frac{k}{c^2}} \cdot e^{-2\mu\varphi\cos\alpha} \; , \qquad 48.)$$

$$(tg\alpha > \mu)$$

a jednadžba 44a./ i 44 b./ poprimaju zajednički oblik :

$$\left[\frac{t+t_c}{t\,t_c+1}\right]^{\frac{t_c^2+1}{t_c^2-1}} = t_a\left[\frac{t_a+t_c}{t_a t_c+1}\right]^{\frac{t_c^2+1}{t_c^2-1}} \cdot e^{-2\mu\varphi\cos\alpha} \; . \qquad 49.)$$

$$(tg\alpha > \mu)$$

Kod primjene treba uspon $(tg\alpha)$ uvrstiti u posljednje dvije formule sa apsolutnim iznosom.-

Prelazimo na drugi slučaj $tg\alpha = \mu = tg\tau$, ili $\alpha = \tau$.

Jednadžba 43./ poprima oblik .

$$\frac{(t^2+1)\,dt}{t(t-1)^2} = -2\mu\cos\tau\,d\varphi = -2\sin\tau\,d\varphi \; .$$

Slomak na desnoj strani rastavljamo na parcijalne dijelove:

$$\frac{t^2+1}{t(t-1)^2} = \frac{1}{t} + \frac{2}{(t-1)^2} .$$

Naša jednadžba poprima sada oblik:

$$\frac{dt}{t} + \frac{2\,dt}{(t-1)^2} = -2\sin\tau\cdot d\varphi ,$$

koji integriran, daje jednadžbu:

$$\ln t - \frac{2}{t-1} = -2\varphi\cdot\sin\tau + Const.$$

$$\ln t = \frac{2}{t-1} - 2\varphi\cdot\sin\tau + Const.$$

$$t = \mathcal{C}\cdot e^{\frac{2}{t-1} - 2\varphi\sin\tau} , \quad \text{ili} \quad t\cdot e^{-\frac{2}{t-1}} = \mathcal{C}\cdot e^{-2\varphi\sin\tau} .$$

Za $\varphi = 0$ neka t poprimi vrijednost t_a. Vrijednost integracione konstante bit će onda :

$$\mathcal{C} = t_a\cdot e^{-\frac{2}{t_a-1}} .$$

Jednadžba brzine konačno glasi :

$$\underline{\underline{t\cdot e^{-\frac{2}{t-1}} = t_a\cdot e^{-\frac{2}{t_a-1}}\cdot e^{-2\varphi\sin\tau}}} . \qquad (\text{za slučaj } tg\alpha = \mu) \qquad 50.)$$

Uspinje li se žlijeb, savit u luk kružnice, sa usponom $|tg\alpha| = \mu$, bit će $tg\alpha$ u formuli 43./ negativan. Zbog toga prelazi ona u oblik:

$$\frac{(t^2+1)\,dt}{t(t+1)^2} = -2\mu\cos\tau\,d\varphi = -2\sin\tau\,d\varphi .$$

ili:

$$\frac{dt}{t} - \frac{2\,dt}{(t+1)^2} = -2\sin\tau\,d\varphi .$$

Ova jednadžba integrirana obostrano daje:

$$\ln t + \frac{2}{t+1} = -2\varphi\sin\tau + Const.$$

$$\ln t = -\frac{2}{t+1} - 2\varphi\sin\tau + Const.$$

$$t = \mathcal{C} \cdot e^{-\frac{2}{t+1} - 2\varphi \sin\tau}$$

$$t \cdot e^{\frac{2}{t+1}} = \mathcal{C} \cdot e^{-2\varphi \sin\tau}$$

Ako za $\varphi = 0$ poprima t vrijednost t_a, integraciona konstanta mjeri:

$$t_a \cdot e^{\frac{2}{t_a+1}} = \mathcal{C}$$

A jednadžba brzine glasi konačno:

$$t \cdot e^{\frac{2}{t+1}} = t_a \cdot e^{\frac{2}{t_a+1}} \cdot e^{-2\varphi \sin\tau} \quad \left(\text{za uspor. } \left|tg\alpha\right| = \mu\right) \quad 51.)$$

Preo staje nam još raspraviti treći slučaj, u kojem je $\frac{tg\alpha}{\mu} < 1$ $tg\alpha < \mu$. Polazimo opet iz jednadžbe 43./ :

$$\frac{(t^2+1)dt}{t\left(t^2 - 2\frac{tg\alpha}{\mu}t + 1\right)} = -2\mu\cos\alpha \cdot d\varphi$$

Drugi faktor u nazivniku može se pisati i ovako :

$$t^2 - 2\frac{tg\alpha}{\mu}t + 1 = \left(t - \frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2 - \left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2 + 1$$

Stavimo li još $h^2 = 1 - \left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2$; ili $h = \sqrt{1 - \left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2}$

Gornja jednadžba poprima oblik.

$$\frac{(t^2+1)dt}{t\left[\left(t - \frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2 + h^2\right]} = -2\mu\cos\alpha\, d\varphi$$

Uz daljnju supstituciju.

$$x = t - \frac{tg\alpha}{\mu}; \qquad dx = dt$$

$$t = x + \frac{tg\alpha}{\mu}; \qquad t^2 = x^2 + 2\frac{tg\alpha}{\mu}x + \left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2$$

$$t^2 + 1 = x^2 + 2\frac{tg\alpha}{\mu}x + \left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2 + 1 = x^2 + 2\frac{tg\alpha}{\mu}x + \left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2 + h^2$$

izlazi

$$\frac{x^2 + 2\frac{tg\alpha}{\mu}\left(x + \frac{tg\alpha}{\mu}\right) + h^2}{\left(x + \frac{tg\alpha}{\mu}\right)\left(x^2 + h^2\right)} \cdot dx = -2\mu\cos\alpha\, d\varphi$$

Slomak s lijeve strane može se rastaviti u parcijalne slomke ovako:

$$\frac{x+2\frac{tg\alpha}{\mu}\left(x+\frac{tg\alpha}{\mu}\right)+h^2}{\left(x+\frac{tg\alpha}{\mu}\right)\left(x^2+h^2\right)}=\frac{1}{x+\frac{tg\alpha}{\mu}}+\frac{2\frac{tg\alpha}{\mu}}{x^2+h^2}\ .$$

Onda je :

$$\int\frac{dx}{x+\frac{tg\alpha}{\mu}}=ln\left(x+\frac{tg\alpha}{\mu}\right)$$

$$2\frac{tg\alpha}{\mu}\int\frac{dx}{x^2+h^2}=2\frac{tg\alpha}{\mu}\cdot\frac{1}{h}\cdot arc\,tg\left(\frac{x}{h}\right)\ .$$

Općenito riješenje gornje diferencijalne jednadžbe pak glasi:

$$ln\left(x+b\right)+2\frac{b}{h}\,arc\,tg\left(\frac{x}{h}\right)=-2\mu\varphi\cos\alpha+Const.$$

ili budući da je $x+b=t$

$$ln\,t=-2\frac{b}{h}\,arc\,tg\left(\frac{t-b}{h}\right)-2\mu\varphi\cos\alpha+Const.$$

Stavimo dalje $tg\,\varepsilon=\frac{t-b}{h}$.

Onda je $t=h\,tg\,\varepsilon+b\,;\quad \varepsilon=arc\,tg\frac{t-b}{h}$.

Naša jednadžba prelazi u :

$$ln\left(h\,tg\,\varepsilon+b\right)=-2\frac{b}{h}\varepsilon-2\mu\varphi\cos\alpha+Const.$$

$$h\,tg\,\varepsilon+b=e^{-2\frac{b}{h}\varepsilon}\cdot e^{-2\mu\varphi\cos\alpha}\cdot C\ .$$

$$\left(h\,tg\,\varepsilon+b\right)\cdot e^{2\frac{b}{h}\varepsilon}=C\cdot e^{-2\mu\varphi\cos\alpha}\ .$$

Za $\varphi=0$, neka je $\varepsilon=\varepsilon_\alpha$. Onda je

$$C=\left(h\,tg\,\varepsilon_\alpha+b\right)\cdot e^{2\frac{b}{h}\varepsilon_\alpha}$$

a konačna jednadžba brzine glasi (za $tg\,\alpha<\mu$):

$$\left(h\,tg\,\varepsilon+b\right)\cdot e^{2\frac{b}{h}\varepsilon}=\left(h\,tg\,\varepsilon_\alpha+b\right)\cdot e^{2\frac{b}{h}\varepsilon}\cdot e^{-2\mu\varphi\cos\alpha}\ .\qquad 52.)$$

U ovoj formuli označuje:

$$b=\frac{tg\alpha}{\mu}\ ;\qquad h=\sqrt{1-b^2}\ ;$$

$$tg\varepsilon_a = \frac{t_a - b}{h} \; ; \qquad tg\varepsilon = \frac{t - b}{h} \; ;$$

$$t_a = h\,tg\varepsilon_a + b = \frac{v_a^2}{h} + \sqrt{1 + \left(\frac{v_a^2}{h}\right)^2} \; ;$$

$$t = h\,tg\varepsilon + b = \frac{v^2}{h} + \sqrt{1 + \left(\frac{v^2}{h}\right)^2} \; ;$$

Uspinje li se takav žlijeb sa stalnim usponom $|tg\alpha| < \mu$ treba uzeti $tg\alpha$ u formuli 53./ sa negativnim predznakom. Ona prelazi u oblik:

$$(h\,tg\varepsilon - b)\cdot e^{-2\frac{b}{h}\varepsilon} = (h\,tg\varepsilon_a - b)\cdot e^{-2\frac{b}{h}\varepsilon_a} \cdot e^{-2\mu\varphi\cos\alpha} \qquad 53.)$$

$$(\text{za uspon } |tg\alpha| < \mu)$$

U ovoj formuli označuje:

$$b = \left|\frac{tg\alpha}{\mu}\right| \; ; \qquad h = \sqrt{1 - b^2} \; ; \qquad tg\varepsilon_a = \frac{t_a + b}{h} \; ; \; tg\varepsilon = \frac{t + b}{h} \; ;$$

$$t_a = h\,tg\varepsilon_a - b = \frac{v_a^2}{h} + \sqrt{1 + \left(\frac{v_a^2}{h}\right)^2} \; ;$$

$$t = h\,tg\varepsilon - b = \frac{v^2}{h} + \sqrt{1 + \left(\frac{v^2}{h}\right)^2} \; .$$

U žlijebu <u>kočne linije</u>, t.j. linije, koja pokazuje luk kružnice u situaciji, a pada sa nagibom: $tg\alpha < \mu$, ili je horizontalna, pogotovo pak, ako se uspinje sa usponom $|tg\alpha| > 0$, teško tijelo lako sustane. Često treba poznavati vrijednost centričnog kuta φ_o uz koju brzina teškog tijela spane na nulu, ili, što je isto, mjesto na kojem će sustati tijelo u takovoj liniji. U svakom takovom slučaju je:

za $v = 0$, $t = \frac{v^2}{h} + \sqrt{1 + \left(\frac{v^2}{h}\right)^2} = 1$. U pojedinim pak slučajevima računa se spomenuti kut φ_o ovako:

U slučaju, kad žlijeb pada u nagibu $tg\alpha = \mu$, slijedi iz formule 50./,

za $v_a > 0$ $t = 1$; $\varphi_o = \infty$.

U slučaju, kada žlijeb pada u nagibu $tg\alpha=\mu$, slijedi iz formule 52./ :

$$\varphi_0 = \frac{\ln t_a + 2\frac{b}{h}(\varepsilon_a - \varepsilon)}{2\mu\cos\alpha} \quad . \qquad 54.)$$

U slučaju horizontalnog žlijeba $(tg\alpha=0)$, slijedi iz formule 47./ :

$$\varphi_0 = \frac{\ln t_a}{2\mu} \quad . \qquad 55.)$$

U slučaju, kad se žlijeb uspinje sa usponom $|tg\alpha|<\mu$, slijedi iz formule 53./ :

$$\varphi_0 = \frac{\ln t_a - 2\frac{b}{h}(\varepsilon_a - \varepsilon)}{2\mu\cos\alpha} \quad . \qquad 56.)$$

U slučaju, kad se žlijeb uspinje sa usponom $|tg\alpha|=\mu$, slijedi iz formule 51./ :

$$\varphi_0 = \frac{\ln t_a - \frac{t_a-1}{t_a+1}}{2\sin\tau} \quad . \qquad 57.)$$

Konačno, u slučaju, kad se žlijeb uspinje sa usponom $|tg\alpha|>\mu$ slijedi iz formule 49./ :

$$e^{2\mu\varphi_0\cos\alpha} = t_a\left[\frac{t_a+t_e}{t_a t_e+1}\right]^{\frac{t_a^2+1}{t_a^2-1}} \quad . \qquad 58.)$$

Približne formule. Ako je radij luka kružnice velik, teško tijelo klizi gotovo kao u pravcu. Za $ds=r\varphi$ izlazi onda iz formule 3c./, dakle u slučaju, kad teško tijelo klizi niz kosinu :

$$v^2 = v_a^2 + 2gr\varphi(tg\alpha-\mu); \qquad 59a.)$$

u slučaju $tg\alpha=0$ / horizontala / :

$$v^2 = v_a^2 - 2g\mu r\varphi; \qquad 59b.)$$

a u slučaju, kad se teško tijelo uspinje na kosinu:

$$v^2 = v_a^2 - 2gr\varphi(tg\alpha+\mu) \quad . \qquad 59c.)$$

Ove formule mogu poslužiti u svrhu grube kontrole u svakom slučaju.-

Do točnijih približnih formula dolazimo na ovaj način. Polazimo iz formule 39./ :

$$d\left(\frac{v^2}{k}\right) = 2\left(1-\frac{\mu}{V}\right)\cdot\sin\alpha\, d\varphi$$

u kojoj smatramo koeficijenat nagiba konstantom. Onda mora biti-

$$\int_{v_a^2}^{v^2} d\left(\frac{v^2}{k}\right) = 2\left(1-\frac{\mu}{V}\right)\sin\alpha \int_0^{\varphi} d\varphi$$

$$\frac{v^2}{k} - \frac{v_a^2}{k} = 2\left(1-\frac{\mu}{V}\right)\varphi \cdot \sin\alpha$$

$$v^2 = v_a^2 + 2gr\varphi\left(tg\alpha - \mu\frac{tg\alpha}{V}\right)$$

ili s obzirom na jednadžbu 34./:

$$v^2 = v_a^2 + 2gr\varphi\left[tg\alpha - \mu\sqrt{1+(\cos\alpha\cdot tg\beta)^2}\right]. \qquad 60a.)$$

Ova formula vrijedi u slučaju, kad linija pada sa nagibom $tg\alpha$ u smjeru klizanja.

U horizontalnom luku je $tg\alpha=0$, vrijedi dakle približna formula:

$$v^2 = v_a^2 - 2g\mu r\varphi\sqrt{1+tg^2\beta}. \qquad 60b.)$$

Konačno, uspinje li se linija u smjeru klizanja, $tg\alpha$ biće negativan, a formula 60a/ poprima oblik

$$v^2 = v_a^2 - 2gr\varphi\left[tg\alpha + \mu\sqrt{1+(\cos\alpha\cdot tg\beta)^2}\right]. \qquad 60c.)$$

<u>Pregled formula</u> <u>o promjeni brzine teškog tijela, koje klizi u žlijebu linije, savite u luk kružnice u horizontalnoj projekciji.</u>

1.) Linija žlijeba pada u smjeru klizanja u nagibu $tg\alpha > \mu$:

$$t\cdot\left[\frac{t-b-\frac{c^2}{k}}{t-b+\frac{c^2}{k}}\right]^{b\cdot\frac{k}{c^2}} = t_a\cdot\left[\frac{t_a-b-\frac{c^2}{k}}{t_a-b+\frac{c^2}{k}}\right]^{b\cdot\frac{k}{c^2}}\cdot e^{-2\mu\varphi\cos\alpha} \qquad 44.)$$

ili

$$t\cdot\left[\frac{t-t_c}{tt_c-1}\right]^{\frac{t_c^2+1}{t_c^2-1}} = t_a\cdot\left[\frac{t_a-t_c}{t_at_c-1}\right]^{\frac{t_c^2+1}{t_c^2-1}}\cdot e^{-2\mu\varphi\cos\alpha} \qquad 44a.)$$

2.) Linija žlijeba pada u smjeru klizanja u nagibu $tg\alpha=\mu$:

$$t\cdot e^{-\frac{2}{t-1}} = t_a\, e^{-\frac{2}{t_a-1}}\cdot e^{-2\varphi\sin\tau} \qquad 50.)$$

$$\varphi_0 \longrightarrow \infty$$

3.) Linija žlijeba pada u smjeru klizanja u nagibu $tg\alpha < \mu$:

$$\left.\begin{aligned} &(h\cdot tg\varepsilon + b)\, e^{2\frac{b}{h}\varepsilon} = (h\cdot tg\varepsilon_a + b)\, e^{2\frac{b}{h}\varepsilon_a} \cdot e^{-2\mu\varphi\cos\alpha} \quad ; \\ &h\,tg\varepsilon + b = t \; ; \qquad h\,tg\varepsilon_a + b = t_a \; ; \\ &tg\varepsilon = \frac{t-b}{h} \; ; \qquad tg\varepsilon_a = \frac{t_a - b}{h} \; . \end{aligned}\right\} \qquad 52.)$$

$$\varphi = \frac{\ln t_a + 2\frac{h}{b}(\varepsilon_a - \varepsilon)}{2\mu\cos\alpha} \; . \qquad 54.)$$

Približne formule za slučajeve 1./ do 3./ jesu:

Prva. $$v^2 = v_a^2 + 2gr\varphi(tg\alpha - \mu) \; . \qquad 59a.)$$

Druga /tačnija/

$$v^2 = v_a^2 + 2gr\varphi\left[tg\alpha - \mu\sqrt{1 + (\cos\alpha\cdot tg\beta)^2}\right] \; . \qquad 60a.)$$

4.) Linija žlijeba je horizontalna, $tg\alpha = 0$:

$$t = t_a \cdot e^{-2\mu\varphi} \; . \qquad 47.)$$

$$\varphi = \frac{\ln t_a}{2\mu} \; . \qquad 55.)$$

Približne formule za ovaj slučaj su:

Prva: $$v^2 = v_a^2 - 2g\mu r\varphi \; . \qquad 59b.)$$

Druga /tačnija/:

$$v^2 = v_a^2 - 2g\mu r\varphi\sqrt{1 + tg^2\beta} \; . \qquad 60b.)$$

5.) Linija žlijeba se uspinje sa usponom $tg\alpha < \mu$:

$$\left.\begin{aligned} &(h\,tg\varepsilon - b)\, e^{-2\frac{b}{h}\varepsilon} = (h\,tg\varepsilon_a - b)\, e^{-2\frac{b}{h}\varepsilon_a} \cdot e^{-2\mu\varphi\cos\alpha} \quad ; \\ &(h\,tg\varepsilon - b) = t \; ; \quad (h\,tg\varepsilon_a - b) = t_a \; ; \\ &tg\varepsilon = \frac{t+b}{h} \; ; \quad tg\varepsilon_a = \frac{t_a + b}{h} \; ; \end{aligned}\right\} \qquad 53.)$$

$$\varphi = \frac{\ln t_a - 2\frac{b}{h}(\varepsilon_a - \varepsilon)}{2\mu\cos\alpha} \; . \qquad 56.)$$

6.) Linija žlijeba se uspinje sa usponom $tg\alpha = \mu$:

$$t \cdot e^{\frac{2}{t+1}} = t_a \cdot e^{\frac{2}{t_a+1}} \cdot e^{-2\varphi \sin\tau} \qquad 51.)$$

$$\varphi_0 = \frac{\ln t_a - \frac{t_a-1}{t_a+1}}{2\sin\tau} \,. \qquad 57.)$$

7.) Linija žlijeba se uspinje sa usponom $tg\alpha > \mu$:

$$t \cdot \left[\frac{t+b+\frac{c^2}{k}}{t+b-\frac{c^2}{k}}\right]^{b\frac{k}{c^2}} = t_a \cdot \left[\frac{t_a+b+\frac{c^2}{k}}{t_a+b-\frac{c^2}{k}}\right]^{b\cdot\frac{k}{c^2}} \cdot e^{-2\mu\varphi\cos\alpha} \qquad 48.)$$

ili
$$t \cdot \left[\frac{t+t_c}{tt_c+1}\right]^{\frac{t_c^2+1}{t_c^2-1}} = t_a \cdot \left[\frac{t_a+t_c}{t_a t_c+1}\right]^{\frac{t_a^2+1}{t_a^2-1}} \cdot e^{-2\mu\varphi\cos\alpha} \qquad 49.)$$

$$e^{-2\mu\varphi_0\cos\alpha} = t_a \cdot \left[\frac{t_a+t_c}{t_a t_c+1}\right]^{\frac{t_c^2+1}{t_a^2-1}} \,. \qquad 58.)$$

Približne formule za slučajeve 5./ do 7./ su:

Prva: $$v^2 = v_a^2 - 2gr\varphi(tg\alpha+\mu) \,. \qquad 59a.)$$

Druga /tačnija/:
$$v^2 = v_a^2 - 2gr\varphi\left[tg\alpha+\mu\sqrt{1+(\cos\alpha\, tg\beta)^2}\right] \,. \qquad 60a.)$$

U ovim formulama označuje:

α uzdužan pad ili uspon linije žlijeba;

$\mu = tg\tau$ koeficijenat trenja;

$b = \frac{tg\alpha}{\mu}$;

r polumjer luka kružnice, koji pokazuje linija žlijeba u horizontalnoj projekciji /situaciji/.

φ centrični kut tog luka.

φ_0 centrični kut luka, na kraju kojega je brzina teškog tijela jednaka nuli;

g akceleraciju teže /9,81 $m./_{sec.}$/;

$k = \frac{rg}{\cos\alpha}$, konstanta klizine; (30b)

v_a brzina na početku luka;

v brzina na kraju luka centričnog kuta φ ;

$\frac{c^2}{k}=\sqrt{k^2-1}$; c je stacionarna brzina; (30a)

$h=\sqrt{1-k^2}\left(=i\frac{c^2}{k}\right)$;

$t=\frac{v^2}{k}+\sqrt{1+\left(\frac{v^2}{k}\right)^2}$; $\frac{v^2}{k}=\frac{t^2-1}{2t}$;

$t_a=\frac{v_a^2}{k}+\sqrt{1+\left(\frac{v_a^2}{k}\right)^2}$;

$t_c=\frac{c^2}{k}+\sqrt{1+\left(\frac{c^2}{k}\right)^2}$;

e baza naravnih logaritama.

$tg\beta=\frac{v^2}{gr}$, poprečan nagib (29,38).

$V=\frac{tg\alpha\sqrt{1+tg^2\alpha}}{\sqrt{1+tg^2\alpha+tg^2\beta}}=\frac{tg\alpha}{\sqrt{1+(\cos\alpha\, tg\beta)^2}}$ koeficijenat nagiba (24).

U takovom žlijebu klizi teško tijelo jednoličnom brzinom, ako je početna brzina jednaka stacionarnoj: $v_a=c$ t.j.

ako je $$tg\beta=\frac{v_a^2}{rg}\ , \qquad (29)$$

i $$tg\alpha=\mu\left[1+\frac{tg^2\beta}{2(1+\mu^2)}\right] \quad (31a).$$

Primjer. Tablica 6 predočuje pisani uzdužni profil njeke zimske klizine, izradjene na-skroz u obliku žlijeba. Osim podataka o liniji te klizine, iskazuje ta tablica maksimalnu i minimalnu brzinu teškog tijela u označenim tačkama od 0 do 12 te linije, ako se koeficijenat trenja kreće u granicama $0{,}05 < \mu < 0{,}15$.

Račun o tim brzinama proveden je dva puta, jedanput za jednu, a drugi puta za drugu graničnu vrijednost koeficijenta trenja i to ovako:

1. Za vrijednost koeficijenta trenja $\mu = 0{,}15$.

Potez 1a do 2. Zanemarujemo brzinu ubacivanja, dakle brzinu, s kojom je vještački gurano tijelo stiglo na potezu manjeg nagiba od

T a b l i c a 6.

Tačka	Profil			Opis smjera linije	tgα	d	h	Visina nivelete	Brzina min.		Brzina max.	
						m			$\frac{v^2}{g}$	v	$\frac{v^2}{g}$	v
0	0	00		Pravac. Usta.	0,05			75,65	·	·	·	·
1		10,76.	PL		0,05	10,76	0,54	75,11	·	·	0	0
1_a		30,44		Vertikalan konveksan luk. R = 200 m.	0,15	19,68	1,96	73,11	0	0	·	·
2		40,00	KL		0,20	9,56	1,67	71,48	0,48	2,2	4,34	6,5
3	2	15,00	PL	Pravac	0,20	175,00	35,00	36,48	17,98	13,3	56,84	23,6
4		23,97	KL	Vert. konkav. luk R = 200 m.	0,153	8,98	1,58	34,90	18,44	13,5	58,84	24,0
5		49,97	PL	Pravac	0,153	26,00	3,98	30,92	18,60	13,5	64,20	25,1
6	4	07,05	KL	Spirala desno k = 100 m.; φ = 90°	0,153	157,08	24,03	6,89	18,73	13,6	92,35	30,1
7		35,07	PL	Pravac	0,153	30,00	4,59	2,30	18,91	13,6	98,53	31,1
8		67,30	KL	Vertikal. konkav. luk R = 200 m.	0,0	30,25	2,30	0,0	13,58	11,5	98,65	31,1
9	5	12,70	PL	Pravac	0,0	45,40	0,0	0,0	0	0	85,03	28,9
10		42,37	KL	Vert. konkav. luk R = 200	−0,15	29,67	−2,21	2,21	·	·	67,97	25,8
11		68,37	PL	Pravac	−0,15	26,00	−3,90	6,11	·	·	52,37	22,6
12	6	53,57	KL	Spirala lijevo k = 100; φ = 48°49'	−0,15	85,20	−12,78	18,89	·	·	0	0

koeficijenta trenja, od tačke 0 do tačke 1_a, te uzimamo, da je u tački 1_a imalo brzinu $v_{1a} = 0$. Od te tačke dalje klizi već tijelo zbog gravitacije, jer se nalazi na potezu većeg nagiba od koeficijenta trenja, na luku vertikalne konveksne kružnice, polumjera $R = 200$. Treba odrediti brzinu v_2 na kraju tog luka u tački 2.

T a b l i c a 7.

tgα	α	arc. α	sinα	cos α
0,05	2° 51' 45"	0,04996	0,04994	0,99875
0,15	8° 31' 51"	0,14889	0,14834	0,98894
0,153	8° 41' 56"	0,15183	0,15124	0,98849
0,20	11° 18' 35"	0,19740	0,19612	0,98058

Za $v_a = v_{1a} = 0$ i $v = v_2$ približna formula 17./ poprima oblik:

$$\frac{v_2^2}{g} = 2(h - \mu d),$$

a jer je $tg\alpha = tg\alpha_{1a} = 0{,}15$, zatim $tg\alpha = tg\alpha_2 = 0{,}20$ biće /isporedi tablicu 7/:

$$h = R(\cos\alpha_a - \cos\alpha) = 200(0{,}98894 - 0{,}98058) = 1{,}67\ m.$$

$$d = R(\sin\alpha - \sin\alpha_a) = 200(0{,}19612 - 0{,}14834) = 9{,}56\ m.$$

Dakle je

$$\frac{v_2^2}{g} = 2(1{,}67 - 0{,}15 \times 9{,}56) = 0{,}48\ ; \qquad v_2 \sim 2{,}2\ m./sec.$$

Potez 2-3. Pravac nagiba $tg\alpha = 0{,}20$, dužine $d = 175{,}0$m. Po formuli 3c/ je onda: $\frac{v_3^2}{g} = \frac{v_2^2}{g} + 2d(tg\alpha - \mu)$; $h = d\,tg\alpha = 175 \times 0{,}2 = 35\ m.$

$$\frac{v_3^2}{g} = 0{,}48 + 2 \times 175(0{,}20 - 0{,}15) = 17{,}98\ ; \qquad v_3 \sim 13{,}3\ m./sec.$$

Potez 3 - 4. Vertikalan konkavan luk. $R = 200$; $tg\alpha_a = 0{,}20$;
$tg\alpha = 0{,}153$.

Po približnoj formuli 16 /kratak luk, mala brzina/ je:

$$\frac{v_4^2}{g} = \frac{v_3^2}{g} + 2(h - \mu d)$$

$$h = R(\cos\alpha - \cos\alpha_a) = 200(0{,}98849 - 0{,}98058) = 1{,}58$$

$$d = R(\sin\alpha_a - \sin\alpha) = 200(0{,}19612 - 0{,}15124) = 8{,}98$$

$$\frac{v_4^2}{g} = 17{,}98 + 2(1{,}58 - 0{,}15 \times 8{,}98) = 18{,}44; \qquad v_4 \sim 13{,}5\ m./sec.$$

Potez 4 - 5. Pravac nagiba $tg\alpha = 0{,}153$, dužine $d = 26$ m. Po formuli 3c/:

$$\frac{v_5^2}{g} = \frac{v_4^2}{g} + 2d(tg\alpha - \mu)\ ; \quad h = d\,tg\alpha = 26 \times 0{,}153 = 3{,}98\ m.$$

$$\frac{v_5^2}{g} = 18{,}44 + 2 \times 26(0{,}153 - 0{,}150) = 18{,}60; \qquad v_5 \sim 13{,}5\ m./sec.$$

Potez 5 - 6. Spirala desno. Polumjer cilindra $r = 100$ m; Centrični kut $\varphi = 90°$. /arc.$\varphi = 1{,}57080$/. Nagib spirale, $tg\alpha = 0{,}153$, tek malo je

veći od koeficijenta trenja $\mu = 0,150$. Zbog toga računamo brzinu najprije po prvoj približnoj formuli /59a/.

$$\frac{v_6^2}{g} = \frac{v_5^2}{g} + 2r\varphi(tg\alpha - \mu) = 18,60 + 2\times 100\times 1,5708(0,153 - 0,150) = 19,54$$

zatim po tačnijoj drugoj približnoj formuli 60a/

$$\frac{v_6^2}{g} = \frac{v_5^2}{g} + 2r\varphi\left[tg\alpha - \mu\sqrt{1+(\cos\alpha\, tg\beta)^2}\right]$$

Za $tg\beta$ uzimamo srednju njegovu vrijednost /form.29/:

$$tg\beta = \frac{1}{2}\left[\frac{v_5^2}{rg} + \frac{v_6^2}{rg}\right] = \frac{1}{2r}\left[\frac{v_5^2}{g} + \frac{v_6^2}{g}\right] = \frac{18,60 + 19,54}{2\times 100} = 0,191 .$$

Onda je:

$$\frac{v_6^2}{g} = 18,60 + 2\times 100\times 1,5708\left[0,153 - 0,15\sqrt{1+(0,98849\times 0,191)^2}\right] = 18,73 .$$

$v_6 \sim 13,6$ m/sec.

Nadalje je: $d = r\varphi = 100 \times 1,5708 = 157,08$;

$$h = d\,tg\alpha = 157,08\times 0,153 = 24,03\ m.$$

Potez 6 - 7. Pravac, nagiba $tg\alpha = 0,153$, dužine $d = 30$ m.

$$\frac{v_7^2}{g} = \frac{v_6^2}{g} + 2d(tg\alpha - \mu) = 18,73 + 2\times 30(0,153 - 0,150) = 18,91 ;$$

$$h = d\,tg\alpha = 30\times 0,153 = 4,59\ m. \qquad v_7 \sim 13,6\ m/sec.$$

Potez 7 - 8. Vertikalan konkavan luk; $R = 200$ m; $tg\alpha_a = 0,153$, $tg\alpha = 0$.

po približnoj formuli 18./:

$$\frac{v_8^2}{g} = \frac{v_7^2}{g}\cdot e^{-2\mu\alpha_a} + 2(h - \mu d) .$$

$$h = R(\cos\alpha - \cos\alpha_a) = 200(1 - 0,98849) = 2,30\ m.$$

$$d = R(\sin\alpha_a - \sin\alpha) = 200\times 0,15126 = 30,25\ m.$$

$$2\mu\alpha_a = 2\times 0,15\times 0,15183 = 0,04555 ;$$

$$e^{2\mu\alpha_a} = e^{0,04555} = 1,047 .$$

$$\frac{v_8^2}{g} = \frac{18,91}{1,047} + 2(2,30 - 0,15\times 30,25) = 13,58 ; \qquad v_8 \sim 11,5\ m/sec.$$

Potez 8 - 9. Horizontala duga $d = 45,40$ m.

Započne li tijelo kliziti sa početnom brzinom $\frac{v_a^2}{g} = \frac{v_8^2}{g} = 13,58$, zastat će na horizontalnom putu dužine /formula 7/:

$$d_0 = \frac{v_8^2}{g} \cdot \frac{1}{2\mu} = \frac{13,58}{2 \times 0,15} = 45,27 < d = 45,40.$$

Na ovom potezu zaustavit će se dakle tijelo, ako je duž cijele klizine vladao koeficijenat trenja $\mu = 0,15$.

2.) Za vrijednost koeficijenta trenja $\mu = 0,05$.

Potez 0 - 1. Na vještački način postignutu brzinu na tom putu zanemarujemo. Dakle je $v_1 = 0$.

Potez 1 - 2. Vertikalan konveksan luk kružnice polumjera R = 200.

$tg\alpha_a = 0,05$, $tg\alpha = 0,20$. Po približnoj formuli 17./je:

$$h = R(\cos\alpha_a - \cos\alpha) = 200\,(0,99875 - 0,98058) = 3,63 \text{ m}.$$

$$d = R(\sin\alpha - \sin\alpha_a) = 200\,(0,19613 - 0,04994) = 29,24 \text{ m}.$$

$$\frac{v_2^2}{g} = 2(h - \mu d) = 2\,(3,63 - 0,05 \times 29,24) = 4,34.$$

$$v_2 \sim 6,5 \text{ m/sec}.$$

Potez 2 - 3. Pravac nagiba $tg\alpha = 0,20$; $h = 35,0$; $d = 175,0$ m.

$$\frac{v_3^2}{g} = \frac{v_2^2}{g} + 2d(tg\alpha - \mu) = 4,34 + 2 \times 175\,(0,20 - 0,05) = 56,84,$$

$$v_3 \sim 23,6 \text{ m/sec}.$$

Potez 3 - 4. Vertikalan konkavan luk; R = 200; $tg\alpha_a = 0,20$; $tg\alpha = 0,153$; $h = 1,58$ m; $d = 8,98$ m. Po formuli 18./:

$$2\mu(\alpha_a - \alpha) = 2 \times 0,05\,(0,19740 - 0,15183) = 0,00456$$

$$e^{2\mu(\alpha_a - \alpha)} = e^{0,00456} = 1,0046$$

$$\frac{v_4^2}{g} = \frac{v_3^2}{g} \cdot e^{-2\mu(\alpha_a - \alpha)} + 2(h - \mu d) = \frac{56,84}{1,0046} + 2\,(1,58 - 0,05 \times 8,98) = 58,84.$$

$$v_4 \sim 24,0 \text{ m/sec}.$$

Potez 4 - 5. Pravac, nagiba $tg\alpha = 0,153$, $d = 26,0$ m.

$$\frac{v_5^2}{g} = \frac{v_4^2}{g} + 2d(tg\alpha - \mu) = 58,84 + 2 \times 26\,(0,153 - 0,050) = 64,20;$$

$$v_5 \sim 25,1 \text{ m/sec}.$$

Potez 5 - 6. Spirala, $r = 100$ m; $\varphi = 90^\circ (1,57080)$; $tg\alpha = 0,153$;

$d = r\varphi = 157,08$ m.

$$b = \frac{tg\alpha}{\mu} = \frac{0,153}{0,05} = 3,06 \; ; \quad b^2 = 9,3636 \; ;$$

Stacionarna brzina /form.30a/.

$$\frac{c^2}{k} = \sqrt{b^2 - 1} = \sqrt{9,3636 - 1} = 2,892 \; ; \quad \frac{c^2}{g} = \frac{c^2}{k} \cdot \frac{r}{\cos\alpha} = \frac{2,892 \times 100}{0,98849} = 292,6 \; ;$$

$c \sim 53,6$ m./sec.

Po približnoj formuli 59a./

$$\frac{v_6^2}{g} = \frac{v_5^2}{g} + 2r\varphi(tg\alpha - \mu) = 64,20 + 2 \times 157,08 (0,153 - 0,050) = 96,56$$

Stavimo $$tg\beta = \frac{1}{2r}\left[\frac{v_5^2}{g} + \frac{v_6^2}{g}\right] = \frac{64,20 + 96,56}{2 \times 100} = 0,804 \; .$$

Onda je po drugoj približnoj formuli /60a./.

$$\frac{v_6^2}{g} = \frac{v_5^2}{g} + 2r\varphi\left[tg\alpha - \mu\sqrt{1 + (\cos\alpha\, tg\beta)^2}\right]$$

$$\frac{v_6^2}{g} = 64,20 + 2 \times 157,08 \left[0,153 - 0,05\sqrt{1 + (0,98849 \times 0,804)^2}\right] = 92,16;$$

$v_6 \sim 30,1$ m/sec.

Da se vidi, kojom točnošću radi ovaj približan postupak, računamo brzinu v_6 još jednom, po tačnoj formuli 44/.

$$t_6 \cdot \left|\frac{t_6 - b - \frac{c^2}{k}}{t_6 - b + \frac{c^2}{k}}\right|^{b\cdot\frac{k}{c^2}} = t_5 \cdot \left|\frac{t_5 - b - \frac{c^2}{k}}{t_5 - b + \frac{c^2}{k}}\right|^{b\frac{k}{c^2}} \cdot e^{-2\mu\varphi\cos\alpha}$$

$$b \cdot \frac{k}{c^2} = \frac{3,06}{2,892} = 1,058 \; ; \quad \frac{v_5^2}{k} = \frac{v_6^2}{g} \cdot \frac{\cos\alpha}{r} = \frac{64,20}{100} \times 0,98849 = 0,63461$$

$$t_5 = \frac{v_5^2}{k} + \sqrt{1 + \left(\frac{v_5^2}{k}\right)^2} = 0,63461 + \sqrt{1 + 0,63461^2} = 1,819 \; .$$

$$2\mu\varphi\cos\alpha = 2 \times 0,05 \times 1,5708 \times 0,98849 = 0,15527$$

$$e^{2\mu\varphi\cos\alpha} = e^{0,15527} = 1,168 \; .$$

$$t_6 \cdot \left|\frac{t_6 - 3{,}06 - 2{,}892}{t_6 - 3{,}06 + 2{,}892}\right|^{1{,}058} = 1{,}819 \left|\frac{1{,}819 - 3{,}06 - 2{,}892}{1{,}819 - 3{,}06 + 2{,}892}\right|^{1{,}058} \cdot \frac{1}{1{,}168}$$

$$t_6 \cdot \left|\frac{5{,}952 - t_6}{t_6 - 0{,}168}\right|^{1{,}058} = 4{,}112 \ .$$

Treba pronaći vrijednost t_6, koja zadovoljava ovu jednadžbu. Kušamo najprije sa prije izračunatom približnom vrijednošću $\frac{v_6^2}{g} = 92{,}16$; onda je $\frac{v_6^2}{k} = \frac{v_6^2}{g} \cdot \frac{\cos\alpha}{\kappa} = 92{,}16 \frac{0{,}98849}{100} = 0{,}911$

$$t_6 = \frac{v_6^2}{k} + \sqrt{1 + \left(\frac{v_6^2}{k}\right)^2} = 0{,}911 + \sqrt{1 + 0{,}911^2} = 2{,}264$$

Ako uvrstimo tu vrijednost u našu jednadžbu, izlazi namjesto 4,112:

$$2{,}264 \left|\frac{5{,}952 - 2{,}264}{2{,}264 - 0{,}168}\right|^{1{,}058} = 4{,}116$$

rezultat, koji nas praktički potpuno zadovoljava, tako, da bismo mogli na približan način izračunatu vrijednost $\frac{v_6^2}{g} = 92{,}16$ pridržati. Želimo li znati baš tačnu vrijednost za $\frac{v_6^2}{g}$ postupamo ovako:

Za $t_6 = 2{,}3$ naša jednadžba poprima vrijednost:

$$2{,}3 \left|\frac{5{,}952 - 2{,}3}{2{,}3 - 0{,}168}\right|^{1{,}058} = 4{,}065 < 4{,}112$$

Za $t_6 = 2{,}2$ ista jednadžba poprima vrijednost

$$2{,}2 \left|\frac{5{,}952 - 2{,}2}{2{,}2 - 0{,}168}\right|^{1{,}058} = 4{,}209 > 4{,}112$$

Prava vrijednost leži dakle u granicama $4{,}065 < t_6 < 4{,}209$, te mjeri, na temelju linearne interpolacije.

$$t_6 = 2{,}2 + \frac{2{,}3 - 2{,}2}{4{,}209 - 4{,}065}(4{,}209 - 4{,}112) = 2{,}267$$

konačno je

$$\frac{v_6^2}{k} = \frac{t_6^2 - 1}{2t_6} = \frac{2{,}267^2 - 1}{2 \times 2{,}267} = 0{,}91288 \text{ / prema pribl. } 93{,}16/$$

$$\frac{v_6^2}{g} = \frac{v_6^2}{k} \cdot \frac{\kappa}{\cos\alpha} = 0{,}91288 \cdot \frac{100}{0{,}98849} = 92{,}35$$

$v_6 \sim 30{,}1$ m/sec.

U pravilu klizina treba da ima po mogućnosti ispruženu liniju. Zakreti od 90° praktički jedva dolaze /u ovom primjeru uzet je φ sa 90° samo s razloga, da se dokaže dovoljna praktička tačnost približnih formula /. Zbog toga upotreba tačnih formula redovno otpada kod praktičke primjene.

Potez 6 - 7. Pravac; $tg\alpha = 0{,}153$; $d = 30$ m.

$$\frac{v_7^2}{g} = \frac{v_6^2}{g} + 2d\,(tg\alpha - \mu) = 92{,}35 + 2\times 30\,(0{,}153 - 0{,}050) = 98{,}53 \ .$$

$$v_7 \sim 31{,}1 \ m./sec.$$

Potez 7 - 8. Vertikalan konkavan luk; $R = 300$; $tg\alpha_a = 0{,}153$; $tg\alpha = 0$

$h = 2{,}30$ m; $d = 30{,}25$ m.

po približnoj formuli 18./

$$\frac{v_8^2}{g} = \frac{v_7^2}{g}\, e^{-2\mu(\alpha_a - \alpha)} + 2\,(h - \mu d)$$

$$2\mu(\alpha_a - \alpha) = 2\times 0{,}05 \times 0{,}15183 = 0{,}01518$$

$$e^{2\mu(\alpha_a - \alpha)} = e^{0{,}01518} = 1{,}015$$

$$\frac{v_8^2}{g} = \frac{98{,}53}{1{,}015} + 2\,(2{,}30 - 0{,}05\times 30{,}25) = 98{,}65\ ;$$

$$v_8 \sim 31{,}1 \ m./sec$$

Potez 8 - 9. Horizontala; $d = 45{,}40$ m. Na ovom kočnom potezu kod stovarišta pretpostavljamo povišenje koeficijenta trenja na $\mu = 0{,}15$, na vještački način. Po formuli 5./:

$$\frac{v_9^2}{g} = \frac{v_8^2}{g} - 2\mu d = 98{,}65 - 2\times 0{,}15 \times 45{,}40 = 85{,}03\ ;$$

$$v_9 \sim 28{,}9 \ m./sec.$$

Potez 9 - 10. Vertikalan konkavan luk, koji se uspinje od $tg\alpha_a = 0$ do $tg\alpha = -0{,}15$. $R = 300$ m; Po formuli 18./; uz $\mu = 0{,}15$

$$h = R(\cos\alpha - \cos\alpha_a) = 200\,(0{,}98894 - 1) = -2{,}21 \ m.$$

$$d = R(\sin\alpha_a - \sin\alpha) = 200\,(0 + 0{,}14834) = 29{,}67 \ m.$$

$$2\mu(\alpha_a - \alpha) = 2\times 0{,}15\,(0 + 0{,}14889) = 0{,}04467$$

$$e^{2\mu(\alpha_a-\alpha)} = e^{0,04467} = 1,046$$

$$\frac{v_{10}^2}{g} = \frac{v_9^2}{g}\cdot e^{-2\mu(\alpha_a-\alpha)} + 2(h-\mu d) = \frac{85,03}{1,046} - 2(2,21+0,15\times 29,67) =$$

$$= 67,97 .$$

$$v_{10} \sim 25,8 \text{ m/sec.}$$

Potez 10 - 11. Pravac, uspona $tg\alpha = -0,15$; $d = 26,0$ m.;

$$h = -0,15\times 26 = -3,90 \text{ m.}$$

Po formuli 8./:

$$\frac{v_{11}^2}{g} = \frac{v_{10}^2}{g} - 2d(tg\alpha+\mu) = 67,97 - 2\times 26(0,15+0,15) = 52,37 .$$

$$v_{11} \sim 22,6 \text{ m/sec.}$$

Potez 11 - 12. Kočna spirala, koja se uspinje sa $tg\alpha = -0,15$;

$$r = 100 \text{ m.}; \mu = 0,15.$$

Tražimo centrični kut φ_0 luka, na kraju kojega će tijelo sustati. Dolazi u obzir tačna formula 57./:

$$\varphi_0 = \frac{\ln t_a - \frac{t_a-1}{t_a+1}}{2\sin\tau} .$$

$$\frac{v_a^2}{k} = \frac{v_{11}^2}{k} = \frac{v_{11}^2}{g}\cdot\frac{\cos\alpha}{r} = 52,37\,\frac{0,98894}{100} = 0,518;$$

$$t_a = t_{11} = \frac{v_{11}^2}{k} + \sqrt{1+\left(\frac{v_{11}^2}{k}\right)^2} = 0,518 + \sqrt{1+0,518^2} = 1,644;$$

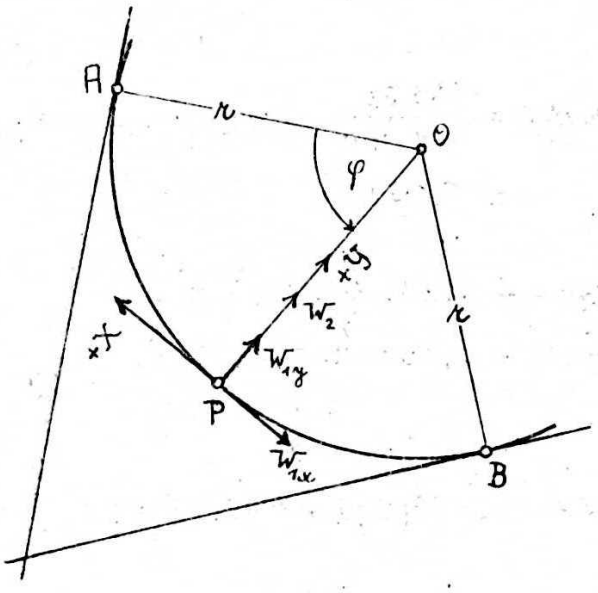
$$\ln t_a = \frac{\log t_a}{M} = \frac{0,21590}{0,43429} = 0,497; \quad \frac{t_a-1}{t_a+1} = \frac{0,644}{2,644} = 0,244;$$

$$\varphi_0 = \frac{0,497-0,244}{2\times 0,14834} = 0,852; \quad \varphi_0 = 48^\circ 49'; \quad d = r\varphi = 85,20 \text{ m.}$$

$$h = -0,15\times 85,2 = -12,78 .$$

ε.) Mijena brzine na švarcvaldskom gornjem stroju, trasiranom u liniji cilindričke spirale.

U švarcvaldskom gornjem stroju klizeći teško tijelo u krivulji, leži na podlozi konstatnog poprečnog nagiba β, a prislanja se i na vanjsku stijenu braniča u općenitom slučaju. Zbog toga nastaju općenito dvije reakcije: W_1 reakcija podloge, konstantnog uzdužnog (α) i poprečnog (β) nagiba, pa W_2 reakcija vanjske stijene.



U našem koordinatnom sistemu, sa ishodištem u težištu tijela (P), u osovini spirale komponente reakcije W_1 su.

$$W_{1x} = -W_1 v \cdot \cos\alpha \ ;$$

$$W_{1y} = W_1 v \cdot \cos\alpha \frac{tg\beta}{tg\alpha}$$

$$W_{1z} = -W_1 v \cdot \frac{\cos\alpha}{tg\alpha} \ ,$$

jednako kao kod žlijeba /isp.jedn.25/.

v označuje jednadžbom 24./ definirani koeficijenat nagiba, koji je u ovom slučaju <u>konstanta</u>. Reakcija W_2 je horizontalna i uperena prema osovini cilindra, jer je stijena braniča vertikalna i leži u plaštu cilindra. Njezine su dakle komponente:

$$W_{2x} = 0 \ ; \quad W_{2y} = W_2 \ ; \quad W_{2z} = 0 \ .$$

Preostale još stvarne sile, koje djeluju na to tijelo su:

Vlastita težina Q mg, sa komponentama:

$$Q_x = 0 \ ; \quad Q_y = 0 \ ; \quad Q_z = Q \ .$$

Trenje na podlozi $T_1 = \mu_1 W_1$ sa komponentama:

$$T_{1x} = \mu_1 W_1 \cos\alpha \ ; \ T_{1y} = 0 \ ; \ T_{1z} = -\mu_1 W_1 \sin\alpha \ ;$$

Trenje na stijeni braniča $T_2 = \mu_2 W_2$ sa komponentama:

$$T_{2x} = \mu_2 W_2 \cos\alpha \ ; \ T_{2y} = 0 \ ; \ T_{2z} = -\mu_2 W_2 \sin\alpha \ .$$

K ovim stvarnim silama, dodajemo još /po d' Alambertu/ pomoćne sile tromosti:

Tangecijalnu silu $\mathcal{T}$ sa komponentama:

$$\mathcal{T}_x = \mathcal{T}\cos\alpha \ ; \ \mathcal{T}_y = 0 \ ; \ \mathcal{T}_z = -\mathcal{T}\sin\alpha \ ,$$

centrifugalna sila $\mathcal{N}$ sa komponentama:

$$\mathcal{N}_x = 0 \ ; \quad \mathcal{N}_y = -\mathcal{N} \quad \mathcal{N}_z = 0$$

tako, da sve te sile budu uravnotežene:

$$Q_x + W_{1x} + W_{2x} + T_{1x} + T_{2x} + \mathcal{T}_x + \mathcal{N}_x = 0$$

$$Q_y + W_{1y} + W_{2y} + T_{1y} + T_{2y} + \mathcal{T}_y + \mathcal{N}_y = 0$$

$$Q_x + W_{1x} + W_{2x} + T_{1x} + T_{2x} + \mathcal{T}_x + \mathcal{N}_x = 0$$

ili:

$$-W_1 v\cdot\cos\alpha + \mu_1 W_1\cdot\cos\alpha + \mu_2 W_2\cdot\cos\alpha + \mathcal{T}\cos\alpha = 0$$

$$W_1 v\cdot\cos\alpha\frac{tg\beta}{tg\alpha} + W_2 - \mathcal{N} = 0$$

$$Q - W_1 v\frac{\cos\alpha}{tg\alpha} - \mu_1 W_1\sin\alpha - \mu_2 W_2\sin\alpha - \mathcal{T}\sin\alpha = 0$$

pa dalje:

$$(\mu_1 - v)W_1 + \mu_2 W_2 + \mathcal{T} = 0$$

$$W_1 v\cdot\cos\alpha\frac{tg\beta}{tg\alpha} + W_2 - \mathcal{N} = 0$$

$$\frac{Q}{\sin\alpha} - \left(\frac{v}{tg^2\alpha} + \mu_1\right)W_1 - \mu_2 W_2 - \mathcal{T} = 0$$

Iz ovih triju jednadžbi računamo tri nepoznanice W_1, W_2 i $\mathcal{T}$. Zbrojimo li prvu i treću jednadžbu izlazi najprije:

$$W_1 = Q\frac{\sin\alpha}{v}\,. \qquad 61.)$$

a onda slijedi iz druge jednadžbe /isp.i form.34./:

$$W_2 = \mathcal{N} - Q\cos^2\alpha\cdot tg\beta = \mathcal{N} - Q\cos\alpha\cdot\sqrt{\left(\frac{tg\alpha}{v}\right)^2 - 1} \qquad 62.)$$

i konačno iz treće:

$$\mathcal{T} = Q\left[\left(1 - \frac{\mu_1}{v}\right)\sin\alpha - \mu_2\left(\frac{\mathcal{N}}{Q} - \cos^2\alpha\cdot tg\beta\right)\right]$$

Kod cilindričke spirale mjeri centrifugalna sila:

$$\mathcal{N} = \frac{mv^2}{\varrho} = \frac{mv^2\cos^2\alpha}{r}\,.$$

Dakle je

$$\frac{\mathcal{N}}{Q} = \frac{mv^2\cos^2\alpha}{mgr} = \frac{v^2\cos^2\alpha}{gr} = \frac{v^2}{k}\cos\alpha\,,$$

ako $k = \frac{rg}{\cos\alpha}$ opet označuje konstantu klizine.

Posljednja jednadžba poprima zbog toga oblik:

$$\mathcal{T} = Q\left[\left(1-\frac{\mu_1}{V}\right)\sin\alpha - \left(\frac{v^2}{k} - \cos\alpha\,tg\beta\right)\mu_2\cos\alpha\right] \cdot$$

$$\mathcal{T} = Q\mu_2\cos\alpha\left[\left(1-\frac{\mu_1}{V}\right)\frac{tg\alpha}{\mu_2} + \cos\alpha\,tg\beta - \frac{v^2}{k}\right] \cdot \qquad 63.)$$

Tangencijalna akceleracija mjeri pak:

$$a_t = \frac{\mathcal{T}}{m} = g\mu_2\cos\alpha\left[\left(1-\frac{\mu_1}{V}\right)\frac{tg\alpha}{\mu_2} + \cos\alpha\,tg\beta - \frac{v^2}{k}\right] \cdot$$

ili ako se za koeficijenat nagiba V uvrsti njegova vrijednost iz jednadžbe 24./:

$$a_t = g\mu_2\cos\alpha\left[\frac{tg\alpha}{\mu_2} + \cos\alpha\,tg\beta - \frac{\mu_1}{\mu_2}\sqrt{1-(\cos\alpha\,tg\beta)^2} - \frac{v^2}{k}\right] \cdot \qquad 64.)$$

Ako je akceleracija jednaka ništici, tijelo klizi jednoličnom brzinom /slijedi iz 64./ za $a_t = 0$:

$$\frac{c^2}{k} = \frac{tg\alpha}{\mu_2} + \cos\alpha\,tg\beta - \frac{\mu_1}{\mu_2}\sqrt{1+(\cos\alpha\,tg\beta)^2} \,. \qquad 65.)$$

Zbog toga piše se jednadžba akceleracije 64./ kraće:

$$a_t = g\mu_2\cos\alpha\left[\frac{c^2}{k} - \frac{v^2}{k}\right] ,$$

ili, budući je $k = \frac{rg}{\cos\alpha}$, a $\varrho = \frac{r}{\cos^2\alpha}$ /isp.jedn.33 *b* i 1*g*/ još kraće:

$$a_t = \frac{\mu_2}{\varrho}(c^2 - v^2) \,. \qquad 66.)$$

Zadaća. Zadana je početna brzina v_a i koeficijenat trenja μ_1 i μ_2

Treba odrediti uzdužan (α) i poprečan (β) nagib klizine, providjene švarcvaldskim gornjim strojem, u spirali polumjera r tako, da tijelo prodje kroz nju jednoličnom brzinom $c = v_a$.

Početna brzina treba da zadovolji jednadžbu 65./:

$$\frac{v_a^2}{k} = \frac{v_a^2}{rg}\cos\alpha = tg\beta_a\cdot\cos\alpha = \frac{tg\alpha}{\mu_2} + \cos\alpha\,tg\beta - \frac{\mu_1}{\mu_2}\sqrt{1+(\cos\alpha\,tg\beta)^2} \,. \qquad 65.)$$

Najmanja vrijednost poprečnog nagiba može biti $tg\beta = 0$, a tijelo opisuje spiralu zbog djelovanja centripetalne sile, koje nastaje samo na stijeni braniča /podloga ne doprinosi centripetalnoj sili ništa, jer nije nagnuta u poprečnom smjeru/. Ako dakle za

$tg\beta = 0$ poprima uzdužan nagib vrijednost $tg\alpha_0$, slijedi iz gornje jednadžbe najprije

$$\cos\alpha_0 \, tg\beta_a = \frac{tg\alpha_0 - \mu_1}{\mu_2} , \qquad 66.)$$

a onda:

$$tg\alpha_0 = \mu_1 + \mu_2 \cos\alpha_0 \, tg\beta_a . \qquad 67.)$$

S druge strane, najveća vrijednost poprečnog nagiba može biti:

$$tg\beta = tg\beta_a = \frac{v_a^2}{rg} . \qquad 68.)$$

Uzdužan nagib istodobno neka poprimi vrijednost $tg\alpha_a$.

Na kraju tačke 7.) bilo je naime obrazloženo: ako podloga ima poprečan nagib $tg\beta = tg\beta_a$, a koeficijenat nagiba, ako je istodobno jednak koeficijentu trenja na podlozi $V = \mu_1$, ili, što je isto, ako je

$$tg\alpha_a = \mu_1 \sqrt{1 + (\cos\alpha_a \cdot tg\beta_a)^2} , \qquad 69.)$$

tijelo opisuje spiralu polumjera r klizeći jednoličnom brzinom $c = v_a$ samo zbog nagnute podloge, bez pomoći braniča.

Odatle izlazi, u svim slučajevima, u kojima je:

$$0 < tg\beta < tg\beta_a ,$$
$$tg\alpha_0 > tg\alpha > tg\alpha_a ,$$

tijelo opisuje spiralu također jednoličnom brzinom $c = v_a$, zbog zajedničkog djelovanja podloge i stijene braniča.

Praktički postupamo u konkretnom slučaju, da izračunamo najprije $tg\alpha_a$ iz jednadžbe 69./, koja je istovjetna sa jur izvedenom formulom 31./:

$$tg^2\alpha_a = \sqrt{(\mu_1 tg\beta_a)^2 + \left(\frac{1+\mu_1^2}{2}\right)^2} - \frac{1-\mu_1^2}{2} , \qquad 69a.)$$

a može se približno pisati i ovako:

$$tg\alpha_a = \mu_1 \sqrt{1 + (\cos\tau_1 \, tg\beta_a)^2} , \qquad 69b.)$$

jer se $\cos\alpha_a$ i $\cos\tau_1$ malo razlikuju. Potom izračunamo $tg\alpha_0$ iz formule 67./, koja se u tu svrhu približno može pisati i ovako:

$$tg\alpha_0 = \mu_1 + \mu_2 \cos\alpha_a \, tg\beta_a \qquad 67a.)$$

jer se $\cos\alpha_0$ i $\cos\alpha$ opet ne razlikuju mnogo. Za uzdužan nagib odaberemo zatim najzgodniju zaokruženu vrijednost $tg\alpha$ u granicama:

$$tg\alpha_a < tg\alpha < tg\alpha_0 .$$

Odgovarajući pak poprečan nagib $tg\beta$ izračunamo konačno iz formule 65./, koja se u tu svrhu svodi na oblik:

$$\cos\alpha\, tg\beta = \frac{\mu_2\left(tg\alpha - \mu_2\cos\alpha\, tg\beta_a\right) - \mu_1\sqrt{\left(tg\alpha - \mu_2\cos\alpha\, tg\beta_a\right)^2 - \left(\mu_1^2 - \mu_2^2\right)}}{\mu_1^2 - \mu_2^2}, \qquad 70.)$$

a u slučaju $\mu_1 = \mu_2 = \mu$ na oblik:

$$\cos\alpha\, tg\beta = \frac{1}{2}\left[\frac{1}{\frac{tg\alpha}{\mu} - \cos\alpha\, tg\beta_a} - \left(\frac{tg\alpha}{\mu} - \cos\alpha\, tg\beta_a\right)\right] \qquad 71.)$$

U vezi sa ovom zadaćom spominjemo, da ima izvjesnu računsku vrijednost i stacionarna brzina $c = v_a = 0$ .U tom slučaju je $tg\beta_a = \frac{v_a^2}{rg} = 0$, a $tg\alpha_a = tg\alpha_0 = \mu_1$ /isp.67.i 69./.Mora dakle biti i $tg\alpha = \mu_1$.
Iz jednadžbe 70./ i 71./ slijedi pak, da je u tom slučaju $tg\beta = 0$.—

Na spirali uzdužnog nagiba $tg\alpha = \mu_1$ a poprečnog nagiba $tg\beta = 0$, stacionarna brzina jednaka je ništici /$c = 0$/.

Primjer 1. Zadano je $\mu_1 = 0{,}32$, $\mu_2 = 0{,}25$. Treba odrediti uzdužan i poprečan nagib spirale polumjera $r = 100$, providjene švarcvaldskim gornjim strojem, da tijelo klizi u njoj jednoličnom brzinom

$$\frac{c^2}{g} = \frac{v_a^2}{g} = 20 \ , \quad (v_a \sim 14\ m/sec.)$$

Najprije je

$$tg\beta_a = \frac{v_a^2}{rg} = \frac{20}{100} = 0{,}2.$$

Nadalje je po formuli 69b./:

$$tg\alpha_a = \mu_1\sqrt{1 + \left(\cos\tau_1\, tg\beta_a\right)^2} = 0{,}32\sqrt{1 + \left(0{,}9524 \times 0{,}2\right)^2}$$
$$= 0{,}32 \times 1{,}018 = 0{,}326$$

Iz formule 67a./ izlazi pak:

$$tg\alpha_0 = \mu_1 + \mu_2\cos\alpha_a\, tg\beta_a = 0{,}32 + 0{,}25 \times 0{,}9508 \times 0{,}2 = 0{,}32 + 0{,}047 = 0{,}367$$

Odaberemo li uzdužan nagib tako, da leži u granicama $0{,}326 < tg\alpha < 0{,}367$, na pr. $tg\alpha = 0{,}33$, $\cos\alpha = 0{,}9496$, odgovarajući poprečan nagib računa se iz formule 70./ kako slijedi.

$$tg\alpha - \mu_2\cos\alpha\, tg\beta_a = 0{,}33 - 0{,}25 \times 0{,}9496 \times 0{,}2 = 0{,}33 - 0{,}047 = 0{,}283$$

$$\mu_1^2 - \mu_2^2 = 0{,}\overline{32}^2 - 0{,}\overline{25}^2 = 0{,}04$$

$$0{,}9496\, tg\beta = \frac{0{,}25 \times 0{,}283 - 0{,}32\sqrt{0{,}283^2 - 0{,}04}}{0{,}04} = \frac{0{,}071 - 0{,}064}{0{,}04} = 0{,}175$$

$$tg\beta = \frac{0,175}{0,9496} = 0,184 .$$ Kontrola $0,0 < 0,184 < tg\beta_a = 0,20 .$

Na jednaki način našli smo za ostale vrijednosti $tg\alpha$ odgovarajući $tg\beta$ u priloženoj tablici:

$tg\alpha$	0,326	0,33	0,34	0,35	0,36	0,367
$tg\beta$	0,20	0,184	0,132	0,079	0,026	0

Namjesto tačne formule 70./,daje i linearna interpolacija:

$$tg\beta = (tg\alpha_o - tg\alpha)\cdot \frac{tg\beta_a}{tg\alpha_o - tg\alpha_a} \qquad 70a.)$$

prilično zadovoljavajuće rezultate.U ovom slučaju,uporabom te formule /70a./ izlazi:

$tg\alpha$	0,326	0,33	0,34	0,35	0,36	0,367
$tg\beta$	0,20	0,18	0,13	0,08	0,03	0

Primjer 2./ Zadano je $\mu_1 = \mu_2 = \mu = 0,15$ .Treba odrediti uzdužan i poprečan nagib spirale polumjera $r = 100$,providjene švarcvaldskim gornjim strojem,da tijelo klizi u njoj jednoličnom brzinom $\frac{c^2}{g} = \frac{v_a^2}{g} = 18,6$.

Najprije je $$tg\beta_a = \frac{v_a^2}{rg} = \frac{18,6}{100} = 0,186 .$$

Iz formule 69b./ izlazi zatim:

$$tg\alpha_a = \mu\sqrt{1 + (\cos\tau \cdot tg\beta_a)^2} = 0,15\sqrt{1 + (0,98894 \times 0,186)^2} = 0,15255$$

a iz formule 67a./

$$tg\alpha_o = \mu(1 + \cos\alpha_a \cdot tg\beta_a) = 0,15(1 + 0,9885 \times 0,186) = 0,17758$$

Uzdužan nagib treba da leži u granicama $0,15255 \leqq tg\alpha \leqq 0,17758$

a poprečan nagib u granicama $0,186 \geqq tg\beta \geqq 0$

Odaberemo li napr. $tg\alpha = 0,153$

biće $$\frac{tg\alpha}{\mu} = \frac{0,153}{0,15} = 1,02 ; \quad \cos\alpha\, tg\beta_a = 0,98849 \times 0,186 = 0,18386$$

$$\frac{tg\alpha}{\mu} - \cos\alpha\, tg\beta_a = 1,02 - 0,18386 = 0,83614$$

a po formuli 71./:

$$0,98849\,tg\beta = \frac{1}{2}\cdot\left[\frac{1}{0,83614} - 0,83614\right] = 0,17991$$

$$tg\beta = \frac{0,17991}{0,98849} = 0,182$$

/isporedi potez 5-6 u primjeru str. 92./

Na jednak način izračunat je $tg\beta$ za ostale vrijednosti $tg\alpha$ u tablici:

$tg\alpha$	0,15255	0,153	0,16	0,17	0,17758
$tg\beta$	0,186	0,182	0,126	0,052	0

Po približnoj linearnoj formuli 70a/ izlazi.

$tg\alpha$	0,15255	0,153	0,16	0,17	0,17758
$tg\beta$	0,186	0,18	0,13	0,06	0

Preostaje nam još raspraviti pitanje, kako se mijenja brzina tijela na švarcvaldskom gornjem stroju u spirali, ako početna brzina v_a ne zadovoljava jednadžbu 65./ t.j. ako početna brzina nije ujedno i stacionarna.

Polazimo iz jednadžbe 39./ koja vrijedi ovdje jednako kao kod žlijeba.

$$v\,dv = a_t\,\frac{\varkappa\,d\varphi}{\cos\alpha} = a_t\varrho\cos\alpha\,d\varphi$$

pa uvrstimo u nju vrijednost akceleracije a_t iz jednadžbe 66./

$$v\,dv = (c^2 - v^2)\,\mu_2\cos\alpha\,d\varphi$$

i svedemo ju dalje na oblik.

$$\frac{dv}{d\varphi} + v\mu_2\cos\alpha = \frac{c^2\mu_2\cos\alpha}{v}\,.$$

U svrhu riješenja ove diferencijalne jednadžbe stavimo:

$$v = z\cdot e^{-\mu_2\varphi\cos\alpha}\,, \qquad \frac{dv}{d\varphi} = \frac{dz}{d\varphi}\cdot e^{-\mu_2\varphi\cos\alpha} - z\mu_2\cos\alpha\cdot e^{-\mu_2\varphi\cos\alpha}\,.$$

Naša jednadžba prelazi onda u:

$$\frac{dz}{d\varphi}\cdot e^{-\mu_2\varphi\cos\alpha} = \frac{c^2\mu_2\cos\alpha}{z\cdot e^{-\mu_2\varphi\cos\alpha}}$$

$$z\,dz = c^2\mu_2\cos\alpha\cdot e^{2\mu_2\varphi\cos\alpha}\cdot d\varphi\,.$$

Obostrano integrirana, daje općenito rješenje:

$$z^2 = c^2 \cdot e^{2\mu_2 \varphi \cos\alpha} + 2C$$

ili budući je $z^2 = v^2 \cdot e^{2\mu_2 \varphi \cos\alpha}$, rješenje:

$$v^2 = c^2 + 2C \cdot e^{-2\mu_2 \varphi \cos\alpha}$$

Za $\varphi = 0$, brzina v poprima svoju početnu vrijednost v_a.
Integraciona konstanta mjeri onda.

$$2C = v_a^2 - c^2 .$$

Općenito jednadžba brzine, za švarcvaldski gornji stroj u spirali, glasi dakle:

$$v^2 = c^2 + (v_a^2 - c^2) \cdot e^{-2\mu_2 \varphi \cos\alpha} \qquad 71.)$$

$$c^2 = k\left[\frac{tg\alpha}{\mu_2} + \cos\alpha\, tg\beta - \frac{\mu_1}{\mu_2}\sqrt{1 + (\cos\alpha\, tg\beta)^2}\right] \qquad 65.)$$

$$k = \frac{rg}{\cos\alpha} . \qquad 33b.)$$

U ovim formulama označuje:

$\mu_1 = tg\tau_1$ koeficijenat trenja na podlozi;

$\mu_2 = tg\tau_2$ -"- -"- " stijeni od braniča;

r polumjer cilindra spirale;

α uzdužan nagib spirale, linije klizine;

β poprečan nagib podloge u smjeru polumjera r;

φ centrični kut luka spirale u horizontalnoj projekciji;

v_a brzinu tijela na početku spirale $(\varphi = 0)$;

v brzinu tijela na kraju spirale centričnog kuta φ;

c stacionarnu brzinu;

k konstantu klizine;

e bazu naravnih logaritama;

g $(= 9{,}81\ m/sec.)$ akceleraciju teže.

Iz analize formule 71./ izlazi:

1./ Ako je početna brzina jednaka stacionarnoj $(v_a = c)$, tijelo klizi u spirali jednoličnom brzinom $v = c$.

2./ Ako je $v_a > c$,najveća brzina tijela je na početku spirale, za $\varphi = 0$ .Sa porastom tog kuta brzina biva sve manja,a biće $v \to c$ za $\varphi \to \infty$.

3./ Ako je $v_a < c$,najmanja brzina tijela je na početku spirale $(\varphi = 0)$ .Sa porastom kuta φ brzina biva sve veća,a biće $v \to c$ za $\varphi \to \infty$.

Iz 2./ i 3./ slijedi:Ako je $v_a \gtrless c$ tijelo klizi sve manjom dotično sve većom brzinom,dok ne stigne stacionarnu brzinu c .Teoretski doduše u beskonačnosti,uistinu već u skoroj konačnosti,poput teškog tijela,koje pada u zrakom ispunjenom prostoru.

Spirala koči brzinu,ako je stacionarna brzina manja od početne $(c^2 < v_a^2)$,jednaka nuli $(c^2 = 0)$ ili je imaginarna $(c^2 < 0)$.

Stacionarna brzina jednaka je nuli,izveli smo malo prije /str. 102/,ako je $tg\alpha = \mu_1$,a $tg\beta = 0$ .U tom slučaju poprima jednadžba 71./ oblik:

$$v = v_a \cdot e^{-\mu_2 \varphi \cos\tau_1} \qquad 71a.)$$

Tijelo sustane teoretski u takovoj spirali za $\varphi \to \infty$ .Uistinu već u skoroj konačnosti.

U kočnim krivuljama $tg\alpha < \mu_1$ uopće treba ostaviti podlogu horizontalnom. Formula stacionarne brzine,u spirali poprečnog nagiba $tg\beta = 0$,poprima pak oblik:

$$c^2 = -k \frac{\mu_1 - tg\alpha}{\mu_2} . \qquad 65a.)$$

Za $tg\alpha < \mu_1$ je imaginarna,te ima samo računsko značenje.U takovoj spirali sustane tijelo kod vrijednosti centričnog kuta $\varphi = \varphi_0$, koja izlazi iz formule 71./,za $v = 0$:

$$\varphi_0 = \frac{ln\left(1 - \frac{v_a^2}{c^2}\right)}{2\mu_2 \cos\alpha} . \qquad 72.)$$

Ako je $tg\alpha = 0$ /naravno i $tg\beta = 0$ / linija klizine splasne u luk horizontalne kružnice .Stacionarna brzina mjeri:

$$c^2 = -\rho g \frac{\mu_1}{\mu_2} , \qquad 65b.)$$

a centrični kut φ_0 ,kod kojeg sustane tijelo,iznosi

$$\varphi_0 = \frac{ln\left(1 - \frac{v_a^2}{c^2}\right)}{2\mu_2}$$

Ako se spirala uspinje u smjeru klizanja, biće uzdužan nagib negativan ($tg\alpha < 0$), a $tg\beta = 0$. Stacionarna brzina računa se u tom slučaju iz formule 65a/, brzina na kraju luka iz formule 71./, a centrični kut φ, kod kojega će sustati tijelo, iz formule 72./; treba tek uzeti u račun nagib α sa negativnim predznakom u tim formulama.

Primjer 1. Zadana je spirala sa švarcvaldskim gornjem strojem, polumjera $r = 100$ m.; centričnog kuta $\varphi = 90°$, uzdužnog nagiba $tg\alpha = 0,153$, poprečnog nagiba $tg\beta = 0,182$.

Kolika je brzina na kraju spirale teškog tijela, koje je ušlo u početak spirale sa brzinom $\frac{v_a^2}{g} = 64,20$ ($v_a \sim 25$ m/sec.) i dalje klizilo u njoj uz koeficijenat trenja $\mu_1 = \mu_2 = \mu = 0,05$?

Za $\mu = \mu_1 = \mu_2$ formula 65 poprima oblik:

$$\frac{c^2}{k} = \frac{tg\alpha}{\mu} + \cos\alpha\, tg\beta - \sqrt{1 + (\cos\alpha\, tg\beta)^2} \quad . \qquad 65c.)$$

U ovom slučaju je:

$$\frac{tg\alpha}{\mu} = \frac{0,153}{0,05} = 3,06\,; \quad \cos\alpha\, tg\beta = 0,98849 \times 0,182 = 0,17990\,; \quad (\cos\alpha\, tg\beta)^2 = 0,03237$$

$$\frac{c^2}{k} = 3,06 + 0,1799 - \sqrt{1 + 0,03237} = 2,224$$

$$\frac{c^2}{g} = \frac{c^2}{k} \cdot \frac{r}{\cos\alpha} = \frac{2,224 \times 100}{0,98849} = 224,99 .$$

Brzina na kraju spirale mjeri po formuli 71./:

$$\frac{v^2}{g} = \frac{c^2}{g} + \left(\frac{v_a^2}{g} - \frac{c^2}{g}\right) \cdot e^{-2\mu\varphi\cos\alpha} .$$

Ako je dakle

$$2\mu\varphi\cos\alpha = 2 \times 0,05 \times 1,5708 \times 0,98849 = 0,15527,$$

$$e^{2\mu\varphi\cos\alpha} = e^{0,15527} = 1,168 ,$$

brzina na kraju spirale mjeri:

$$\frac{v^2}{g} = 224,99 + \frac{64,20 - 224,99}{1,168} = 224,99 - 137,66 = 87,33$$

$$v \sim 29,3 \text{ m/sec.}$$

Brzina na kraju je porasla prema početnoj, a tako i mora biti, jer je u ovom slučaju $v_a < c$.

Primjer 3. Zadana je kočna spirala, koja se uspinje sa uzdužnim usponom $tg\alpha = -0,15$, polumjera $r = 100$. Traži se centrični kut φ_0 luka, na kraju kojega će sustati tijelo, ako je ušlo u spiralu sa početnom brzinom $\frac{v_a^2}{g} = 52,37$ $\left(v_a = 22,6\ m/sec \right)$, a klizilo u njoj uz koeficijenat trenja $\mu_1 = \mu_2 = \mu = 0,15$. U kočnim spiralama, nagiba $tg\alpha < \mu_1$, je $tg\beta = 0$. Stacionarna brzina mjeri onda po formuli 65a./ :

$$\frac{c^2}{k} = -\frac{\mu - tg\alpha}{\mu} = -\frac{0,15 + 0,15}{0,15} = -2 .$$

$$\frac{c^2}{g} = \frac{c^2}{k} \cdot \frac{r}{\cos\alpha} = -\frac{2 \times 100}{0,98894} = -202,24$$

$$\frac{v_a^2}{c^2} = \frac{\frac{v_a^2}{g}}{\frac{c^2}{g}} = -\frac{52,37}{202,24} = -0,259$$

Traženi centrični kut jeri po formuli 72./:

$$\varphi_0 = \frac{ln\left(1 - \frac{v_a^2}{c^2}\right)}{2\mu\cos\alpha} = \frac{ln\,(1 + 0,259)}{2 \times 0,15 \times 0,98894} = \frac{0,23033}{0,29668} = 0,77636\ ;\ \varphi_0 = 44°29'.$$

Isporedi li se ovaj rezultat sa rezultatom na potezu 11-12 primjera str.97. vidi se, da švarcvaldski profil koči snažnije od žlijeba.

Napomena. Praktički moći će se redovno staviti $\mu_1 = \mu_2 = \mu$. Na osniježenim ili oledjenim klizinama, providjenima sa švarcvaldskim gornjim strojem, za cijelo se koeficijenat trenja na podlozi jedva razlikuje od koeficijenta trenja na stijeni braniča. Isto vrijedi za ovlaženu ljetnu klizinu. Kod suhih ljetnih klizina općenito se oba koeficijenta razlikuju. Uzme li se ipak obzir, da drvo klizi uz stijenu braniča prisloniv̌si zarubljeno čelo o nju, dakle, da vlakanca stijene i drva, koje klizi, nijesu paralelna, nego priklonjena pod izvjesnim kutom, zatim, da braniči nijesu besprijekorno čisti od zemlje i t.d., zbog prometa, približit će se stanje stijene i podloge toliko, da će se moći i kod ljetne suhe klizine praktički dovoljno tačno staviti u račun $\mu_1 = \mu_2 = \mu$ i to s tim opravdanije onda, kad se klizina osniva na temelju dviju graničnih vrijednosti koeficijenta trenja.

U pravcu, pak u vertikalnim krivuljama, račun o promjeni brzine na švarcvaldskom gornjem stroju ni u čemu se naravno ne razlikuje od takovog računa kod užljebine.

η.) O prelaznoj krivulji. Izmedju pravca i cilindričke spirale treba umetnuti prelaznu krivulju na svaki način. Kod švarcvaldskog gornjeg stroja, da se podloga u njoj postepeno privede iz horizontalnog položaja u nagnut položaj u poprečnom smjeru. Kod užljebine, da tijelo klizeći u njoj postepeno prijedje iz dna na početku prelazne krivulje na obalu žlijeba, na mjesto poprečnog nagiba $tg\beta$, na početku spirale.

Jednadžba prelazne krivulje glasi:

$$y = \frac{x^3}{6C}, \quad C = r\ell.$$

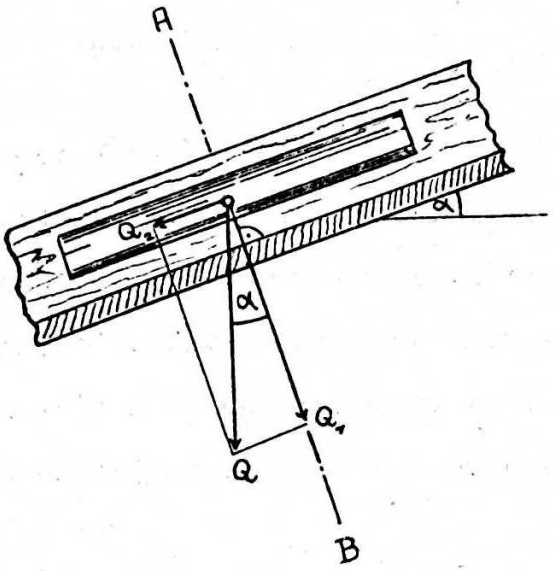
r je polumjer cilindra spirale, a ℓ dužina prelazne krivulje. Iskolčuje se na poznat način /isp. I. dio željeznice i putevi tačka B.II.9/. Na temelju empiričkih podataka, iznešenih po Dr. Glatz-u, najbolje će odgovarati konstanta $C = r\ell = 3.000.-$

Računski ne uzima se prelazna krivulja u obzir. Jedna polovica priključuje se pravcu, a druga spirali. T.j. račun se izvodi, kao da je spirala iskolčena bez prelazne krivulje; na taj način računski početak spirale pada upravo u raspolovište prelazne krivulje.

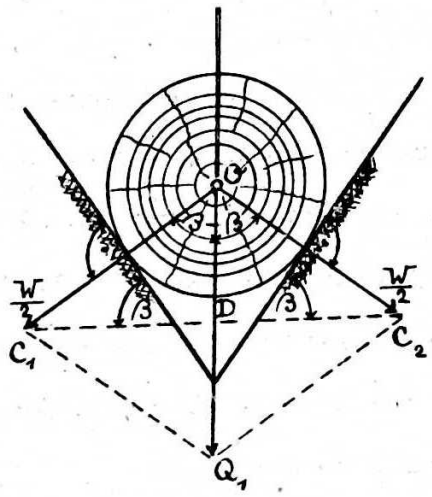
f.) Mijena brzine u gornjem stroju V /klinatog/ oblika.

Zbog svog oblika, klinat gornji stroj moći će se uspješno upotrijebiti samo u pravcu, ili u krivuljama toliko blage krivosti, da se klizanje u njima gotovo ne razlikuje od klizanja u pravcu. Poradi toga promatramo samo klizanje u pravcu.

Slika 43a./ šematski predočuje uzdužan prerez takovog gornjeg stroja. Linija klizine nagnuta je uzdužnom smjeru opet pod kutem α prema horizontali. Komponenta $Q_2 = Q \sin\alpha$, paralelna sa linijom klizine, goni Q teško tijelo niz klizinu. Nasuprot ovoj radi trenje μW koje uzrokuje reakcija podloge W.



Prerez A-B



Tijelo klizi dakle pod utjecajem rezultante obiju sila

$$\mathcal{T} = Q\sin\alpha - \mu W .$$

Slika 43*b*./ šematski predočuje poprečan prerez takove klizine u smjeru komponente $Q = \cos\alpha$,koja djeluje okomito na liniju klizine.Budući da se teško tijelo klizeći prislanja uistinu na dvije stijene,jednakog nagiba β prema horizontali,razabire se iz te slike,da je Q_1 tek idealna rezultanta dvaju jednako velikih bočnih pritiska $\frac{W}{2}$ .Iz paralelograma sila $OC_1Q_1C_2$ izlazi najprije,da je $OD = DQ_1 = \frac{1}{2}Q_1$,a iz trokuta OC_1D /ili OC_2D /,da je:

$$\frac{Q_1}{2} = \frac{W_2}{2}\cos\beta \quad \text{ili} \quad W = Q_1 \frac{1}{\cos\beta} = Q\cdot\frac{\cos\alpha}{\cos\beta} .$$

Naša gornja jednadžba prelazi zbog toga u oblik:

$$\mathcal{T} = Q\sin\alpha - \mu Q\cdot\frac{\cos\alpha}{\cos\beta} .$$

Akceleracija na takovom gornjem stroju u pravcu pak mjeri:

$$a_t = \frac{\mathcal{T}}{m} = g\left(\sin\alpha - \mu\frac{\cos\alpha}{\cos\beta}\right) . \qquad 73.)$$

Daljni račun odvija se jednako kao u tački *b*./.Uvrsti li se na-ime u jednadžbu 3*a*./:

$$v^2 = v_a^2 + 2a_t s$$

vrijednost za a_t iz posljednje jednadžbe, izlazi:

$$v^2 = v_a^2 + 2gd\left(tg\alpha - \frac{\mu}{\cos\beta}\right), \qquad 74.)$$

formula, koja daje brzinu tijela v na kraju klizine, u horizontalnoj projekciji d dugačke, na početku koje je teško tijelo imalo brzinu v_a. Na kraju horizontalne klizine, d dugačke, brzina tijela mjeri $(\alpha = 0)$:

$$v^2 = v_a^2 - 2gd\frac{\mu}{\cos\beta}. \qquad 75.)$$

Dužina horizontalnoga puta, na početku kojega je tijelo imalo brzinu v_a, a na kraju kojega ima još brzinu v mjeri:

$$d = \frac{v_a^2 - v^2}{2g\mu}\cos\beta. \qquad 76.)$$

Dužina pak horizontalnoga puta, na kraju kojega sustane tijelo $(v = 0)$, koje je počelo na njemu kliziti brzinom v_a, mjeri:

$$d = \frac{v_a^2}{2g\mu}\cos\beta. \qquad 77.)$$

Uspinje li se linija u smjeru klizanja, kut α biće negativan, a jednadžba brzine poprima oblik:

$$v^2 = v_a^2 - 2gd\left(tg\alpha + \frac{\mu}{\cos\beta}\right). \qquad 78.)$$

Odatle izlazi opet formula:

$$d = \frac{v_a^2 - v^2}{2g\left(tg\alpha + \frac{\mu}{\cos\beta}\right)} \cdot 79.) \quad \text{i} \quad d = \frac{v_a^2}{2g\left(tg\alpha + \frac{\mu}{\cos\beta}\right)} \cdot 80.)$$

Prva formula daje horizontalnu projekciju uzbrdice d, na kraju koje tijelo još ima brzinu v, dotično druga, na kraju koje je ta brzina jednaka nuli $(v = 0)$, ako je se tijelo klizeći počelo uspinjati na uzbrdicu sa brzinom v_a.-

Gornji stroj ovog oblika vrlo je snažnog kočnog djelovanja.

Primjer: Zadana je početna brzina $\frac{v_a^2}{g} = 163$.

$/\ v_a \sim 40\ m/sec.\ /$. Traži se dužina d horizontalne klizine, uz koju će tijelo sustati.

Da se može prispodobiti snaga kočenja V gornjeg stroja prema običnom /užljebini ili švarcvaldskom profilu/, računamo najprije du-

žinu d_o po formuli 7./:

$$d_o = \frac{v_a^2}{2g\mu} = \frac{163}{2\mu} ,$$

zatim po formuli 77./:

$$d = \frac{v_a^2}{2g\mu} \cos\beta = d_o \cdot \cos\beta .$$

Za razne vrijednosti μ i β iz tih formula izračunate i u tablici 8./ iskazane

T a b l i c a 8.

β	$tg\,\beta$	$\cos\beta$		μ				
				0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
0°	0	1	d_o	815,0	407,5	271,1	203,8	163,0
18°26'	1/3	0,94869	d	773,2	386,6	257,2	193,3	154,6
26°34'	1/2	0,89442	d	729,0	364,5	242,5	182,3	145,8
45° 0'	1	0,70711	d	576,3	288,1	191,7	144,1	115,3
60° 0'	1,73205	0,50000	d	407,5	203,8	135,6	101,9	81,5

vrijednosti za d_o i d pokazuju, da se može znatno smanjiti dužina kočenja svrsi shodnim uredjajem gornjeg stroja, pa istodobnim vještačkim povećanjem koeficijenta trenja.

IV.) <u>Računska linija klizine.</u> Iskustvom je dokazano /Kubelka, Glatz/ da je najpovoljniji oblik linije klizine što više ispružena krivulja, najvećeg nagiba na početku, pa sve manjeg prema kraju. Na početku klizine linija treba da ima posve odredjen, prije već opisan oblik zbog ustiju, na kraju pak zbog kočnih uredjaja, pa istovara robe. Poradi toga se uvodno rečeni zahtjev može protegnuti tek na liniju srednjeg dijela klizine, koju imamo dalje pred očima. U teoretskom izvodu ovakove najpovoljnije linije srednjeg dijela klizine predpostavljamo najprije, da ta linija predočuje u situaciji pravac, a poslije ćemo se osvrnuti na slučajeve u kojima odmiče od pravca.

U uzdužnom profilu idealna linija srednjeg dijela klizine pokazuje dakle krivulju konkavnu prema gore, najvećeg nagiba na početku, a najmanjeg na kraju / sl. 44 / .

Kako se mijenja brzina tijela na luku kružnice, konkavnom prema gore, izveli smo već u tačci C , α . No tamo izvedena jednadžba 13./ :

$$v^2 e^{-2\mu\alpha} = v_a^2 e^{-2\mu\alpha_a} + \frac{2g}{\cos\tau}\int_{\alpha}^{\alpha_a} e^{-2\mu\alpha} \cdot R \sin(\alpha-\tau)\,d\alpha$$

ne vrijedi samo u slučaju, kad je polumjer krivosti konstanta R , nego i onda, kad je polumjer krivosti promjenljivica ϱ , koja se od tačke do tačke krivulje mijenja tako, da jednadžba

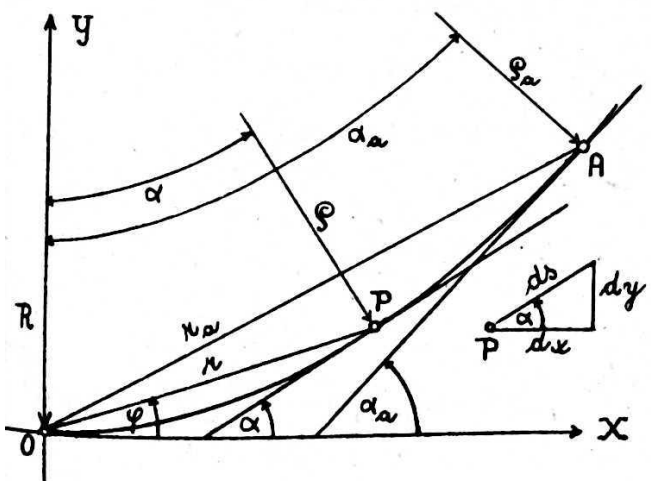
$$v^2 e^{-2\mu\alpha} = v_a^2 e^{-2\mu\alpha_a} + \frac{2g}{\cos\tau}\int_{\alpha}^{\alpha_a} e^{-2\mu\alpha} \cdot \varrho \sin(\alpha-\tau)\,d\alpha \qquad 81.)$$

predočuje općenitu jednadžbu brzine teškog tijela, koje klizi na krivulji konkavnoj prema gore, inače ali povoljnog oblika, već prema zakonu, po kojemu se mijenja njezin polumjer krivosti ϱ .

Svih mogućih takovih krivulja ima neizmjerno mnogo. Našoj svrsi, pak konstrukciji jednadžbe 81./ najjednostavnije ali odgovara jato krivulja, kod kojega se polumjer krivosti mijenja po zakonu :

$$\varrho = R \cdot e^{\alpha \operatorname{tg}\gamma} . \qquad 82.)$$

α označuje uzdužan nagib krivulje t.j. nagib njezine tangente u povoljnoj tačci P prema osovini X ; e je baza naravnih logaritama, a R i $\operatorname{tg}\gamma$ su konstante, koje se odabiraju već prema konkretnim prilikama klizine najshodnije, kako će se vidjeti poslije. Već sada ali vidi se ovo : Odabere li se $\operatorname{tg}\gamma = 0$ krivulja poprima oblik luka kružnice polumjera $\varrho = R$. Odabere li se $\operatorname{tg}\gamma > 0$ / pozitivno / polumjer krivosti raste sa nagibom α od tačke do tačke sve više. Odabere li se $\operatorname{tg}\gamma < 0$ / negativno / polumjer krivosti biva sve manji, što je kut α veći.



U tačoi $\alpha = 0$ cijelo jato krivulja ima isti polumjer krivosti $\varrho = R$. Sa porastom kuta α bi-će $\varrho \gtrless R$ već prema odabranoj vrijednosti konstante $tg\gamma \gtrless 0$. Jato sastoji dakle od krivulja, koje se uspinju polaganije, jednako ili brže od luka kružnice, polumjera R, već prema veličini konstante $tg\gamma$, koja može biti pozitivna, jednaka nuli, ili negativna. Budući se i druga konstanta R odabire po volji, u tom jatu naći će se uvijek krivulja, koja će se prilagoditi prilikama tla u konkretnom slučaju ponajbolje.

Naša općenita jednadžba brzine 81./ poprima pak obzirom na jednadžbu 82./, oblik :

$$v^2 \cdot e^{-2\mu\alpha} = v_a^2 \cdot e^{-2\mu\alpha_a} + \frac{2gR}{\cos\tau} \int_{\alpha}^{\alpha_a} e^{-(2\mu - tg\gamma)\alpha} \cdot \sin(\alpha - \tau)\, d\alpha .$$

U svrhu izračunanja integrala na desnoj strani jednadžbe, stavljamo :

$$\underline{tg\varepsilon = 2\mu - tg\gamma.} \qquad 83.)$$

Onda je :

$$\int_{\alpha}^{\alpha_a} e^{-\alpha tg\varepsilon} \cdot \sin(\alpha - \tau)\, d\alpha = \frac{-tg\varepsilon \cdot \sin(\alpha - \tau) - \cos(\alpha - \tau)}{1 + tg^2\varepsilon} e^{-\alpha tg\varepsilon} \Big|_{\alpha}^{\alpha_a}$$

$$= \cos\varepsilon \cdot \cos(\varepsilon + \tau - \alpha) \cdot e^{-\alpha tg\varepsilon} \Big|_{\alpha}^{\alpha_a}$$

i zbog toga :

$$v^2 \cdot e^{-2\mu\alpha} = v_a^2 \cdot e^{-2\mu\alpha} + 2gR \frac{\cos\varepsilon}{\cos\tau} \left[\cos(\varepsilon + \tau - \alpha) e^{-\alpha tg\varepsilon} - \cos(\varepsilon + \tau - \alpha_a) \cdot e^{-\alpha_a tg\varepsilon} \right] . \qquad 84.)$$

Ova jednadžba predočuje zakon, po kojem se mijenja brzina teškog tijela, koje klizi uz konstantan koeficijenat trenja $\mu = tg\tau$ na povoljnoj krivulji jata $\varrho = e^{\alpha tg\gamma}$. Daje brzinu v u povoljnoj tački krivulje $P(\alpha)$, ako je poznata brzina tijela v_a na početku krivulje, u tački $A(\alpha_a)$.

Ako je početna brzina jednaka ništici ($v_a = 0$) prelazi u oblik :

$$v^2 \cdot e^{-2\mu\alpha} = 2gR \frac{\cos\varepsilon}{\cos\tau} \left[\cos(\varepsilon + \tau - \alpha) e^{-\alpha tg\varepsilon} - \cos(\varepsilon + \tau - \alpha_a) e^{-\alpha_a tg\varepsilon} \right] . \qquad 85.)$$

U istom tom slučaju ($v_a = 0$) mjeri brzina u tački $\alpha = 0$

/ Tačka 0 , sl. 44. / :

$$v_0^2 = 2gR\frac{\cos\varepsilon}{\cos\tau}\left[\cos(\varepsilon+\tau)-\cos(\varepsilon+\tau-\alpha_a)\cdot e^{-\alpha_a tg\varepsilon}\right] . \qquad 86.)$$

Ako je $v_a = 0$, a ujedno i $v_0 = 0$, izlazi iz posljednje jednadžbe uvjet :

$$\cos(\varepsilon+\tau-\alpha_a)\, e^{-\alpha_a tg\varepsilon} = \cos(\varepsilon+\tau), \qquad 87.)$$

koji treba da je ispunjen, ako se želi, da se teško tijelo zaustavi na kraju linije, u tačci nagiba $\alpha = 0$ / tačka 0 , sl.44./, koje je prešlo iz stanja mirovanja u stanje klizanja na početku linije, u tačci nagiba $\alpha = \alpha_a$/ tačka A , sl. 44. / . Interesantno je, da se u toj jednadžbi ne nalazi konstanta R . Iz ove jednadžbe može se dakle izračunati α_a , potreban nagib na početku klizine, nezavisno od te konstante.

Najjednostavniji oblik poprima jednadžba 87./, ako se odabere :

$$tg\gamma = 2\mu \qquad 88.)$$

Onda je : $tg\varepsilon = 2\mu - tg\gamma = 0$, dakle i $\varepsilon = 0$

a jednadžba 87./ prelazi u oblik :

$$\cos(\tau-\alpha_a) = \cos\tau .$$

Od dviju mogućih riješenja : $\alpha_a = 0$ i $\alpha_a = 2\tau$ u naše svrhe ima smisla samo ono drugo :

$$\alpha_a = 2\tau . \qquad 88a.)$$

Da se teško tijelo smiri u tačci nagiba $\alpha = 0$, klizeći u krivulji $\varrho = R\, e^{2\mu\alpha}$, treba dakle da se krene sa tačke nagiba $\alpha_a = 2\tau$ / dvostruki kut trenja / .

U daljnje svrhe potrebno je odrediti jednadžbu tog jata krivulja . Promatramo zbog toga povoljnu krivulju iz njeg najprije u koordinatnom sistemu XY .

Iz snošaja $ds = \varrho\, d\alpha$, gdje je ds diferencijal dužine luka, pa iz snošaja $dy = ds\sin\alpha$ / vidi sliku 44./ , izlazi :

$dy = \varrho\sin\alpha\, d\alpha$, ili, nakon uvrštenja vrijednosti za ϱ :

$$dy = R e^{\alpha tg\gamma} \cdot \sin\alpha \, d\alpha .$$

Obostranim integriranjem :

$$\int dy = R \int e^{\alpha tg\gamma} \cdot \sin\alpha \, d\alpha + C_1$$

izlazi onda :

$$y = R \frac{tg\gamma \cdot \sin\alpha - \cos\alpha}{1 + tg^2\gamma} \cdot e^{\alpha tg\gamma} + C_1$$

$$y = -R \cos\gamma \cdot \cos(\alpha+\gamma) \cdot e^{\alpha tg\gamma} + C_1 \qquad 89.)$$

Analogno slijedi iz snošaja :

$$dx = ds \cos\alpha = \varrho \cos\alpha \, d\alpha = R e^{\alpha tg\gamma} \cdot \cos\alpha \, d\alpha$$

nakon obostrane integracije :

$$x = R \frac{tg\gamma \cdot \cos\alpha + \sin\alpha}{1 + tg^2\gamma} \cdot e^{\alpha tg\gamma} + C_2$$

$$x = R \cos\gamma \cdot \sin(\alpha+\gamma) \cdot e^{\alpha tg\gamma} + C_2 \qquad 90.)$$

Koordinatni sistem odabiremo tako, da je za $\alpha = 0$ ujedno $x = y = 0$ / isp. sl. 44. / . Za te vrijednosti izlazi onda iz jednadžbe 89./ $C_1 = R \cdot \cos\gamma \cdot \cos\gamma$, a iz jedn. 90./ $C_2 = -R \cdot \cos\gamma \cdot \sin\gamma$. Zbog toga poprimaju te jednadžbe oblik :

$$\left.\begin{aligned} y &= R\cos\gamma \left[\cos - e^{\alpha tg\gamma} \cdot \cos(\alpha+\gamma)\right] \\ x &= R\cos\gamma \left[e^{\alpha tg\gamma} \cdot \sin(\alpha+\gamma) - \sin\gamma\right] \end{aligned}\right\} \qquad 91.)$$

To je parametričko predočenje našeg jata. Jer koordinate tačaka povoljne krivulje iz tog jata odredjene su jednadžbama 91./ kao funkcije parametra /nagiba/ α .

U specijalnom slučaju $tg\gamma = 0$, odredjuju kružnicu polumjera R :

$$y = R(1 - \cos\alpha); \qquad x = R\sin\alpha .$$

Promatranje takove krivulje u polarnim koordinatama / ϱ, φ slika 44./ donosi daljnje formule, korisne za upotrebu.

Najprije je :

$$tg\varphi = \frac{y}{x} = \frac{\cos\gamma - e^{\alpha tg\gamma}\cdot\cos(\alpha+\gamma)}{e^{\alpha tg\gamma}\cdot\sin(\alpha+\gamma)-\sin\gamma} \qquad 92.)$$

Odatle pak slijedi snošaj izmedju kuteva α i φ :

$$e^{\alpha tg\gamma}\cdot\cos(\alpha+\gamma-\varphi) = \cos(\gamma-\varphi)\,, \qquad 93.)$$

koji se može pisati i ovako :

$$tg(\gamma-\varphi) = \frac{\cos\alpha - e^{-\alpha tg\gamma}}{\sin\alpha}\,. \qquad 93a.)$$

Dakle je :

$$\cos(\gamma-\varphi) = \frac{1}{\sqrt{1+tg^2(\gamma-\varphi)}} = \frac{e^{\alpha tg\gamma}\cdot\sin\alpha}{\sqrt{1-2e^{\alpha tg\gamma}\cdot\cos\alpha+e^{2\alpha tg\gamma}}}\,. \qquad 93b.)$$

Iz snošaja $r^2 = x^2 + y^2$ izlazi dalje :

$$r = R\cos\gamma\sqrt{1-2e^{\alpha tg\gamma}\cdot\cos\alpha+e^{2\alpha tg\gamma}}\,. \qquad 94.)$$

Obzirom na jednadžbu 93 b./ je onda najprije :

$$r = R\cos\gamma\,\frac{e^{\alpha tg\gamma}\cdot\sin\alpha}{\cos(\gamma-\varphi)}\,,$$

pa dalje, obzirom na jednadžbu 93./ :

$$r = R\cos\gamma\,\frac{\sin\alpha}{\cos(\alpha+\gamma-\varphi)}\,. \qquad 95.)$$

Srednji dio klizine / od kraja ustiju, pa do početka završnog dijela na stovarištu /neka ima oblik luka OA / sl. 44. / povoljne krivulje iz našeg jata. Promatramo klizanje teškog tijela na tom luku u granicama koeficijenta trenja .

$$\mu_1 = tg\tau_1 \geqq \mu \geqq \mu_2 = tg\tau_2\,.$$

μ_1 neka označuje predvidljivo najveću / gornju /, a μ_2 predvidljivo najmanju / donju / vrijednost koeficijenta trenja u konkretnom slučaju. Nagib α_a, na početku luka u tački A , neka je toliko velik, da teško tijelo krenuvši iz te tačke, pa klizeći dalje, uz najpovoljniju vrijednost koeficijenta trenja $\mu = \mu_1$, stigne još upravo do tačke O , nagiba $\alpha = 0$.

α_a treba onda da zadovoljava jednadžbu 87./ :

$$e^{-\alpha_a tg\varepsilon_1}\cdot\cos(\varepsilon_1+\tau_1-\alpha_a) = \cos(\varepsilon_1+\tau_1)\,. \qquad 95.)$$

Postupa se, da se najprije pronadje kut ε_1 iz jednadžbe 83./ :

$$tg\,\varepsilon_1 = 2\mu_1 - tg\,\gamma, \qquad 96.)$$

a onda izračuna nagib α_a iz jednadžbe 95./ .

Konstanta $tg\,\gamma$ odabire se po volji, već prema krivulji iz našeg jata, za koju smo se odlučili ili za koju smo našli, da najbolje pristaje konkretnim terenskim prilikama. Spominjemo ponovno ovdje, da linija poprima oblik luka kružnice, ako je $tg\,\gamma = 0$; da se linija brže uspinje od luka kružnice, ako je $tg\,\gamma < 0$ / negativan /, a polaganije, ako je $tg\,\gamma > 0$ / pozitivan / . U slučaju $tg\,\gamma = 2\mu_1$ izlazi iz formule 95./ : $\alpha_a = 2\tau_1$ / isp. jedn. 88a./ . Računanje vrijednosti α_a iz te formule za povoljnu vrijednost $tg\,\gamma$ olakšavaju tablica 9./ i 10./ . U tim tablicama iskazane vrijednosti α_a, koje leže nad gornjom dotično pod donjom jače izvučenom slomljenom linijom, nemaju praktičkog značenja, jer odgovarajuće krivulje nemaju dovoljno velike polumjere krivosti ili na svom gornjem ($tg\,\gamma < 0$) ili na svom donjem ($tg\,\gamma > 0$) kraju .

Pošto je odredjen kut α_a prelazi se na računanje poprečnog nagiba φ_a / nagiba tetive $0A$ prema osovini X ; sl. 44. / i to s pomoću formule 93a./ :

$$tg(\gamma - \varphi_a) = \frac{\cos\alpha_a - e^{-\alpha_a tg\gamma}}{\sin\alpha_a}, \qquad 97.)$$

pak na odredjenje snošaja / isp. form. 95./ :

$$\frac{r_a}{R} = \frac{\cos\gamma \cdot \sin\alpha_a}{\cos(\alpha_a + \gamma - \varphi_a)}. \qquad 98.)$$

Potpuno odredjenje krivulje $0A$ zavisi onda još samo od konstante R . Ovu odredjujemo svrsi shodno iz donje granice koeficijenta trenja. Jasno je naime, da teško tijelo ne će sustati kod nagiba $\alpha = 0$ / u tački 0 / , ako je počelo kliziti na istoj krivulji kod netom odredjenog nagiba $\alpha = \alpha_a$ uz koeficijenat trenja $\mu < \mu_1$. Brzina njegova biće veća od nule u tački 0 , a najveća, ako je tijelo klizilo uz najmanji predvidjeni koeficijenat trenja $\mu = \mu_2$. Ta najveća brzina v_0 / na kraju krivulje, u tački 0 , uz koeficijenat trenja μ_2 / ograničena je kapacitetom kočnih uredjaja u

$tg\,\gamma$	$\gamma°$	$\mu_1 = tg\,\tau_1 =$					
		0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
		α_α					
-9,8	$\bar{8}4°10'25''$	90°					
-9,6	$\bar{8}4°03'11''$	32°41'10"					
-7,2	$\bar{8}2°05'34''$	17°33'19"					
-6,36662	$\bar{8}1°04'25''$	.	90°				
-6,0	$\bar{8}0°32'16''$	15°38'25"	.				
-4,8	$\bar{7}8°13'54''$	14°20'20"	27°02'50"				
-4,58978	$\bar{7}7°42'32''$	.	.	90°			
-4,2	$\bar{7}6°36'27''$	13°49'30"	24°28'45"	.			
-3,6	$\bar{7}4°28'33''$	13°22'28"	22°42'01"	37°18'21"			
-3,46684	$\bar{7}3°54'36''$	.	.	.	90°		
-3,0	$\bar{7}1°33'54''$	12°58'32"	21°20'01"	32°32'–	52°15'05"		
-2,66276	$\bar{6}9°24'59''$	.	.	.	.	90°	
-2,4	$\bar{6}7°22'48''$	12°37'12"	20°14'23"	29°30'05"	42°05'49"	65°11'38"	
-2,03740	$\bar{6}3°51'26''$	.	.	.	.	.	90°
-1,8	$\bar{6}0°56'44''$	12°17'28"	19°19'45"	27°19'55"	36°56'03"	49°37'25"	70°40'54"
-1,2	$\bar{5}0°11'40''$	12°00'28"	18°33'43"	25°40'17"	33°35'31"	42°47'02"	54°11'28"
-0,6	$\bar{3}0°57'50''$	11°44'33"	17°54'05"	24°20'37"	31°10'47"	38°34'28"	46°47'40"
-0,3	$\bar{1}6°41'57''$	11°37'05"	17°36'12"	23°46'20"	30°11'52"	36°59'02"	44°17'01"
0	0	11°29'14"	17°19'30"	23°14'30"	29°19'30"	35°37'30"	42°13'30"
0,60	30°57'50"	11°16'20"	16°48'54"	22°19'15"	27°50'43"	33°23'54"	39°01'35"
1,20	50°11'40"	11°04'10"	16°21'37"	21°32'20"	26°37'40"	31°38'45"	36°37'00"
2,40	67°22'48"	10°41'28"	13°35'05"	20°15'00"	24°43'19"	29°01'41"	33°11'24"
4,80	78°13'54"	10°04'35"	14°24'02"	18°24'45"	22°10'31"	25°43'52"	29°06'25"
7,20	82°05'34"	9°31'01"	13°32'06"	17°09'26"	20°32'56"	23°43'14"	26°44'14"
9,60	84°03'11"	9°11'34"	12°52'21"	16°14'35"	19°23'36"	22°22'19"	25°12'20"
14,40	86°01'39"	8°35'03"	11°56'03"	15°00'24"	17°55'13"	.	.
19,20	87°01'07"	8°08'19"	11°16'54"	14°13'26"	.	.	.
∞	90°	5°42'38"	8°31'51"	11°18'36"	14°02'10"	16°41'57"	19°17'24"

Tablica 9.

T a b l i c a 10.

$tg\,\gamma$	γ°	$\mu_1 = tg\,\tau_1$					
		0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60
		α_a					
−2,03740	$\bar{6}3^\circ51'26''$	90°					
−1,8	$\bar{6}0^\circ56'44''$	70°40'54"					
−1,52284	$\bar{5}6^\circ42'30''$	·	90°				
−1,5	$\bar{5}6^\circ18'36''$	60°17'30"	·				
−1,2	$\bar{5}0^\circ11'40''$	54°11'28"	70°18'08"				
−1,08202	$\bar{4}7^\circ15'21''$	·	·	90°			
−0,9	$\bar{4}1^\circ59'14''$	49°58'12"	61°47'46"	78°34'40"			
−0,69302	$\bar{3}4^\circ43'22''$	·	·	·	90°		
−0,6	$\bar{3}0^\circ57'50''$	46°47'40"	56°18'27"	68°02'57"	84°21'51"		
−0,34227	$\bar{1}8^\circ53'40''$	·	·	·	·	90°	
−0,30	$\bar{1}6^\circ41'57''$	44°17'01"	52°20'20"	61°33'40"	72°43'43"	87°38'30"	
−0,02065	$\bar{1}°10'59''$	·	·	·	·	·	90°
0	0°	42°13'30"	49°16'30"	56°58'30"	65°39'32"	75°55'00"	88°58'00"
0,30	16°41'57"	40°30'08"	46°48'59"	53°29'50"	60°42'11"	68°41'21"	77°52'27"
0,60	30°57'50"	39°01'35"	44°46'52"	50°43'44"	56°57'28"	63°35'43"	70°49'29"
0,90	41°59'14"	37°44'41"	43°03'27"	48°27'20"	53°59'28"	59°44'06"	65°46'53"
1,20	50°11'40"	36°37'00"	41°34'40"	46°32'50"	51°33'40"	56°40'20"	61°55'38"
1,80	60°56'44"	34°43'37"	39°08'45"	43°29'41"	47°47'34"	52°03'48"	56°19'55"
2,40	67°22'48"	33°11'24"	37°13'28"	41°08'54"	44°58'33"	48°43'22"	52°24'00"
3,00	71°33'54"	31°54'51"	35°39'42"	39°16'41"	42°46'34"	46°10'08"	49°28'06"
3,60	74°28'33"	30°50'05"	34°21'45"	37°44'55"	41°00'23"	44°08'49"	47°10'56"
4,20	76°36'27"	29°54'34"	33°15'50"	36°28'24"	39°33'01"	42°30'17"	45°20'47"
4,80	78°13'54"	29°06'55"	32°19'22"	35°23'37"	38°19'52"	41°08'40"	43°50'35"
6,00	80°32'16"	27°47'01"	30°47'43"	33°39'59"	36°24'28"	39°01'41"	41°31'57"
7,20	82°05'34"	26°44'14"	29°36'42"	32°21'05"	·	·	·
8,40	83°12'40"	25°53'49"	·	·	·	·	·
∞	90°	19°17'24"	21°48'05"	24°13'40"	26°33'54"	28°48'39"	30°57'50"

$\tau°$	$\mu = tg\tau$	$\sin\tau°$	$\cos\tau°$	$arc\,\tau°$	$2\tau°$
2°17'26"	0,04	0,039967	0,999202	0,039978	
2°51'45"	0,05	0,049938	0,998755	0,049960	
5°42'38"	0,10	0,099503	0,995036	0,099667	
8°31'51"	0,15	0,148342	0,988936	0,148891	
11°18'36"	0,20	0,196117	0,980580	0,197397	
14°02'10"	0,25	0,242532	0,970143	0,244976	
16°41'57"	0,30	0,287346	0,957827	0,291455	
19°17'24"	0,35	0,330349	0,943859	0,336674	
21°48'05"	0,40	0,371390	0,928477	0,380506	
24°13'40"	0,45	0,410365	0,911921	0,422855	
26°33'54"	0,50	0,447212	0,894427	0,463647	
28°48'39"	0,55	0,481920	0,876216	0,502844	
30°57'50"	0,60	0,514499	0,857492	0,540422	

T a b l i c a 11.

završnom dijelu klizine. Ne može prekoračiti izvjesnu granicu / maksimum $v_2 \leqq 40 m/sec.$ / . U konkretnom slučaju je dakle poznata, te služi za izračunavanje konstante R s pomoću jednadžbi / isp.jed.86./:

$$\left.\begin{aligned} R &= \frac{v_0^2}{2ng} \\ n &= \frac{\cos\varepsilon_2}{\cos\tau_2}\left[\cos(\varepsilon_2+\tau_2) - \cos(\varepsilon_2+\tau_2-\alpha_\alpha)\, e^{-\alpha_\alpha tg\varepsilon_2}\right] \\ tg\varepsilon_2 &= 2\mu_2 - tg\gamma . \end{aligned}\right\} \qquad 99.)$$

Polumjer krivosti na početku krivulje u tačci A mjeri / isp.for.82/:

$$\rho_\alpha = R\, e^{\alpha_\alpha tg\gamma}, \qquad 100.)$$

a na kraju krivulje u tačci O : $\rho_0 = R$. 101.)

Dužina luka krivulje računa se iz jednadžbe :

$$s = \int_{\alpha_0=0}^{\alpha} \rho\, d\alpha = R\int_{\alpha_0=0}^{\alpha} e^{\alpha tg\gamma}\cdot d\alpha = \frac{R}{tg\gamma}\left[e^{\alpha tg\gamma} - 1\right] = \frac{\rho - R}{tg\gamma} \cdot \qquad 101.)$$

Koordinate pojedinih tačaka krivulje odredjuju pak jednadžbe 91./.-

Primjer 1. Zadan je interval koeficijenta trenja $\mu_1 = 0{,}10$ i $\mu_2 = 0{,}04$ / zimska oledjena klizina /. Neka se odredi linija klizine, ako je $tg\gamma = -7{,}2$. Iz tablice 9./ vidi se najprije, da, za $\mu_1 = 0{,}10$ i $tg\gamma = -7{,}2$, mjeri $\alpha_a = 17^\circ 33' 19''$. Račun se odvija / najpreglednije / dalje paralelno sa tablicom 12, kako slijedi :

Iz formule 97./ : $$tg(\gamma - \varphi_a) = \frac{\cos\alpha_a - \ell^{-\alpha_a tg\gamma}}{\sin\alpha_a} = \frac{0{,}953426 - 9{,}079854}{0{,}301626} = -26{,}942067.$$

Iz formule 98./ : $$\frac{r_a}{R} = \frac{\cos\gamma \cdot \sin\alpha_a}{\cos(\alpha_a + \gamma - \varphi_a)} = \frac{0{,}137569 \times 0{,}301626}{0{,}336781} = 0{,}12321.$$

Iz formule 99./ :

$$n = \frac{\cos\varepsilon_2}{\cos\tau_2}\left[\cos(\varepsilon_2 + \tau_2) - \cos(\varepsilon_2 + \tau_2 - \alpha_a)\,\ell^{-\alpha_a tg\varepsilon_2}\right]$$

$$n = \frac{0{,}136085}{0{,}999202}\left[0{,}096381 - \frac{0{,}392114}{9{,}30517}\right] = 0{,}0073874$$

$$2n = 0{,}0147748\,; \quad \frac{1}{2n} = 67{,}68281.$$

$$R = \frac{1}{2n} \cdot \frac{v_0^2}{g} = 67{,}68281\,\frac{v_0^2}{g}\,;$$

Nadalje :

$$r_a = \frac{r_a}{R} \cdot R = 0{,}12321 \cdot R\ .$$

Koordinate tačke A na početku linije su :

$$x_a = r_a \cos\varphi_a = 0{,}994914 \cdot r_a\,, \quad y_a = r_a \sin\varphi_a = 0{,}100738 \cdot r_a\,,$$

a polumjer krivosti u toj tački mjeri :

$$\varrho_a = R\,\ell^{-\alpha_a tg\gamma} = \frac{R}{9{,}079854}\,.$$

Koordinate tačke O na kraju linije su $x = y = 0$, a polumjer krivosti u toj tački mjeri : $\varrho_0 = R$.

Za razne dozvoljene brzine v_0 / na kraju linije, u tački O / iskazane su vrijednosti R, ϱ_a, r_a, x_a i y_a u tablici 14. U toj istoj tablici iskazane su takove vrijednosti još i za vrijednosti $tg\gamma = 0$, $tg\gamma = 19{,}2$ za isti interval koeficijenta trenja $\mu_1 = 0{,}10$ i $\mu_2 = 0{,}04$ prispodobe radi.

Tablica 13 sadržaj e pak podatke još o njekoliko takovih krivulja, drugih njekih karakterističnih intervala koeficijenta trenja / ovlažene i suhe ljetne klizine / .-

Oznaka	Stupanj	Tangens	Sinus	Kosinus	Arcus	Opaska
$\bar{\tau}_1$	5°42'38"	0,10				$\alpha_a \cdot tg\gamma = -0{,}306397 \times 7{,}2 = -2{,}206058$.
log:		$\bar{1}{,}000000$				
$\bar{\tau}_2$	2°17'26"	0,04		0,999202		$\log e^{-\alpha_a tg\gamma} = \log e^{2{,}206058} = 0{,}958079$.
log:		$\bar{2}{,}602060$		$\bar{1}{,}999653$		
α_a	17°33'19"	0,316360	0,301626	0,953426	0,306397	$e^{-\alpha_a tg\gamma} = 9{,}079854$
log:		$\bar{1}{,}500181$	$\bar{1}{,}479469$	$\bar{1}{,}979300$		
γ	$\bar{8}$2°05'34"	-7,2		0,137569		$tg\varepsilon_2 = 2\mu_2 - tg\gamma$
log:		0,857332		$\bar{1}{,}138522$		$= 2 \times 0{,}04 + 7{,}2 = 7{,}28$
$\gamma - \varphi_a$	$\bar{8}$7°52'28"	$\bar{2}$6,942067				
log:		1,430431				
φ_a	5°46'54"	0,101253	0,100738	0,994914		$\alpha_a tg\varepsilon_2 = 0{,}306397 \times 7{,}28 = 2{,}230570$
log:		$\bar{1}{,}005408$	$\bar{1}{,}003193$	$\bar{1}{,}997785$		
$\alpha_a + \gamma - \varphi_a$	$\bar{7}$0°19'09"			0,336781		$\log e^{\alpha_a tg\varepsilon_2} = \log e^{2{,}23057} = 0{,}968724$
log:				$\bar{1}{,}527347$		
ε_2	82°10'43"	7,28		0,136085		$e^{\alpha_a tg\varepsilon_2} = 9{,}30517$
log:		0,862131		$\bar{1}{,}133811$		
$\varepsilon_2 + \bar{\tau}_2$	84°28'09"			0,096381		
log:				$\bar{2}{,}983993$		
$\varepsilon_2 + \bar{\tau}_2 - \alpha_a$	66°54'50"			0,392114		
log:				$\bar{1}{,}593412$		

T a b l i c a 13.

Primjer 2. Za interval koeficijenta trenja $\mu_1 = 0{,}35$ i $\mu_2 = 0{,}25$ / ovlažena ljetna ljetna klizina / neka se odredi linija klizine, ako je $tg\gamma = 0$ / kružnica / . Računajući paralelno sa tablicom 15. izlazi iz formule 97./ za $\gamma = 0$.:

$$tg(0 - \varphi_a) = \frac{\cos\alpha_a - 1}{\sin\alpha_a} = -tg\frac{1}{2}\alpha_a$$

$$\varphi_a = \frac{1}{2}\alpha_a \qquad 97a.)$$

Tablica 13.

μ_1	μ_2	$tg\gamma$	γ°	α_a°	$tg\alpha_a$	φ_a	$tg\varphi_a$	$\frac{r_a}{R}$	$\frac{1}{2n}$
		-7,2	$\bar{8}2°05'34"$	17°33'19"	0,316360	5°46'54"	0,101253	0,12321	67,68281
		0	0	11°29'14"	0,203220	5°44'37"	0,100582	0,200154	41,95863
0,10	0,04	19,2	87°01'07"	8°08'19"	0,143009	5°43'28"	0,100244	0,74374	11,32169
		-1,2	$\bar{5}0°11'40"$	54°11'28"	1,386078	22° 0'23"	0,404156	0,54592	10,19160
		0	0	42°13'30"	0,907540	21° 6'45"	0,386119	0,72040	8,00423
0,35	0,25	7,2	82°05'34"	26°44'14"	0,503763	19°45'15"	0,359119	3,83731	1,50066
		-0,3	$\bar{1}6°41'57"$	72°43'43"	3,216504	33°59'55"	0,674472	0,986686	4,28251
		0	0	65°39'32"	2,210528	32°49'46"	0,645184	1,084280	3,99352
0,50	0,35	4,2	76°36'27"	39°33'01"	0,825812	28°15'18"	0,537433	4,14342	1,21003

	$tg\gamma$	v. m/sec						
		10	15	20	25	30	35	40
R^m	-7,2	689,96	1552,37	2759,77	4312,07	6209,42	8451,75	11039,0
	0	427,73	962,36	1710,86	2673,18	3849,41	5239,50	6843,41
	19,2	115,41	259,67	461,64	721,31	1038,69	1413,77	1846,56
S_a^m	-7,2	75,99	170,97	303,94	474,91	683,87	930,83	1215,17
	0	427,73	962,36	1710,86	2673,18	3849,41	5239,50	6843,41
	19,2	1764,78	3970,68	7058,98	11029,5	15882,6	21618,0	28235,7
r_a^m	-7,2	85,01	191,27	340,03	531,29	765,06	1041,33	1360,10
	0	85,61	192,62	342,44	535,05	770,48	1048,71	1369,74
	19,2	85,84	193,13	343,34	536,46	772,51	1051,48	1373,36
x_a^m	-7,2	84,58	190,31	338,30	528,59	761,17	1036,03	1353,18
	0	85,18	191,65	340,72	532,36	766,61	1043,44	1362,86
	19,2	85,41	192,17	341,63	533,79	768,66	1046,24	1366,51
d^m	$+\infty$	84,95	191,13	339,79	530,92	764,53	1040,61	1359,16
y_a^m	-7,2	8,56	19,27	34,25	53,52	77,07	104,90	137,01
	0	8,57	19,28	34,27	53,55	77,11	104,95	137,08
	19,2	8,56	19,26	34,25	53,51	77,05	104,88	136,98
h^m	$+\infty$	8,50	19,11	33,98	53,09	76,45	104,06	135,92

Tablica 14. Interval koeficijenta trenja : $\mu_1 = 0,10$, $\mu_2 = 0,04$.

iz formule 98./ :

$$\frac{\kappa_\alpha}{R} = \frac{\sin\alpha_\alpha}{\cos(\alpha_\alpha - \varphi_\alpha)} = \frac{\sin 2\varphi_\alpha}{\cos\varphi_\alpha} = \underline{\underline{2\sin\varphi_\alpha}} \qquad 98a.)$$

$$\frac{\kappa_\alpha}{R} = 2 \times 0{,}3602 = 0{,}7204 .$$

iz formule 99./ :

$$n = \frac{\cos\varepsilon_2}{\cos\tau_2}\left[\cos(\varepsilon_2+\tau_2) - \cos(\varepsilon_2+\tau_2-\alpha_\alpha)\, l^{-\alpha_\alpha \operatorname{tg}\varepsilon_2}\right]$$

$$n = \frac{0{,}894427}{0{,}970143}\left[0{,}759260 - \frac{0{,}999598}{1{,}44554}\right] = 0{,}062467$$

$$2n = 0{,}124934 ; \quad \frac{1}{2n} = 8{,}00423 .$$

Oznaka	Stupanj	Tangens	Sinus	Kosinus	Arcus	Opaska
τ_1	19°17'24"	0,35				
τ_2	14°02'10"	0,25		0,970143		$\operatorname{tg}\varepsilon_2 = 2\mu_2 = 2\times 0{,}25 = 0{,}50$
α_α	42°13'30"	0,907540	0,672045	0,740512	0,736965	
log:		$\bar{1}$,957866	$\bar{1}$,827398	$\bar{1}$,869532		$\alpha_\alpha \operatorname{tg}\varepsilon_2 = 0{,}736965\times 0{,}5 = 0{,}3684825$
φ_α	21°06'45"	0'386119	0,360200	0,932874		
log:		$\bar{1}$,586721	$\bar{1}$,556544	$\bar{1}$,969823		$\log l^{\alpha_\alpha \operatorname{tg}\varepsilon_2} = \log l^{0{,}3684825} = 0{,}160030$
ε_2	26°33'54"	0,50		0,894427		
log:		$\bar{1}$,698970		$\bar{1}$,951545		
$\varepsilon_2+\tau_2$	40°36'04"			0,759260		$l^{\alpha_\alpha \operatorname{tg}\varepsilon_2} = 1{,}445540$
log:				$\bar{1}$,880390		
$\varepsilon_2+\tau_2-\alpha_\alpha$	$\bar{1}$°37'26"			0,999598		
log:				$\bar{1}$,999825		

T a b l i c a 15.

Nadalje je :

$$R = \frac{1}{2n}\cdot\frac{v_0^2}{g} = 8{,}00423\,\frac{v_0^2}{g} ;$$

$$\varrho_\alpha = \varrho_0 = R ;$$

$$\kappa_\alpha = \frac{\kappa_\alpha}{R}\cdot R = 0{,}7204\cdot R ;$$

$$x_\alpha = \kappa_\alpha\cos\varphi_\alpha = 0{,}932874\cdot\kappa_\alpha ; \quad y_\alpha = \kappa_\alpha\sin\varphi_\alpha = 0{,}3602\cdot\kappa_\alpha .$$

Tablica 16. Interval koeficijenta trenja: $\mu_1 = 0{,}35$; $\mu_2 = 0{,}25$

	$tg\gamma$	v_0 m/sec						
		10	15	20	25	30	35	40
R^m	−1,2	103,89	233,76	415,56	649,31	935,01	1272,66	1662,24
	0	81,60	183,59	326,37	509,95	734,33	999,51	1305,48
	+7,2	15,30	34,42	61,19	95,61	137,88	187,39	244,76
ϱ_a^m	−1,2	33,39	75,14	133,57	208,71	300,54	409,07	534,29
	0	81,60	183,59	326,37	509,95	734,33	999,51	1305,48
	7,2	440,37	990,80	1761,40	2752,17	3963,15	5394,32	7045,62
$\varkappa_a^m$	−1,2	56,72	127,61	226,86	354,47	510,44	694,77	907,45
	0	58,78	132,26	235,12	367,37	529,01	720,05	940,47
	7,2	58,70	132,08	234,80	366,87	528,30	719,08	939,21
χ_a^m	−1,2	52,58	118,31	210,33	328,64	473,25	644,15	841,34
	0	54,84	123,38	219,34	342,71	493,50	671,71	877,34
	7,2	55,25	124,30	220,98	345,28	497,21	676,77	883,93
d^m	∞	50,97	114,68	203,87	318,55	458,71	624,36	815,49
y_a^m	−1,2	21,25	47,28	85,01	132,82	191,27	260,34	340,03
	0	21,17	47,64	84,69	132,33	190,55	259,36	338,76
	7,2	19,84	44,64	79,36	124,00	178,56	243,04	317,44
h^m	∞	17,84	40,14	71,35	111,49	160,55	218,53	285,42

Tablica 17.

Oznaka	Stupanj	Tangens	Sinus	Kosinus	Arcus	Opaska
τ_1	26°33'54"	0,50				$\alpha_a tg\gamma = 0{,}690282 \times 4{,}2 = 2{,}899184$
log:		$\bar{1}{,}698970$				
τ_2	19°17'24"	0,35		0,943859		$\log e^{\alpha_a tg\gamma} = \log e^{2{,}899184} = 1{,}259100$
log:		$\bar{1}{,}544068$		$\bar{1}{,}974907$		
α_a	39°33'01"	0,825812	0,636756	0,771065	0,690282	$e^{\alpha_a tg\gamma} = 18{,}15933.$
log:		$\bar{1}{,}916881$	$\bar{1}{,}803973$	$\bar{1}{,}887091$		
$\gamma°$	76°36'27"	0,623249		0,231620		$e^{-\alpha_a tg\gamma} = 0{,}055068$
log:		4,2		$\bar{1}{,}364777$		
$\gamma - \varphi_a$	48°21'09"	1,124445				$tg\varepsilon_2 = 2\mu_2 - tg\gamma = 2 \times 0{,}35 - 4{,}2 = -3{,}5.$
log:		0,050938				
φ_a	28°15'18"	0,537433	0,473398	0,880850		$\alpha_a tg\varepsilon_2 = -0{,}690282 \times 3{,}5 = -2{,}415987$
log:		$\bar{1}{,}730324$	$\bar{1}{,}675226$	$\bar{1}{,}944902$		
$\alpha_a + \gamma - \varphi_a$	87°54'10"			0,036595		$\log e^{-\alpha_a tg\varepsilon_2} = \log e^{2{,}415987} = 1{,}049250$
log:				$\bar{2}{,}563425$		
ε_2	$\bar{7}4°03'17"$	0,544068		0,274719		$e^{-\alpha_a tg\varepsilon_2} = 11{,}200820$
log:		−3,5		$\bar{1}{,}438889$		
$\varepsilon_2 + \tau_2$	$\bar{5}4°45'53"$			0,576935		$e^{\alpha_a tg\varepsilon_2} = 0{,}089279$
log:				$\bar{1}{,}761127$		
$\varepsilon_2 + \tau_2 - \alpha_a$	$\bar{9}4°18'54"$			$\bar{0}{,}075240$		$\cos(-84°18'54") = \cos 84°18'54" = -\sin 4°18'54"$
log:				$\bar{2}{,}876447$		

Numerički rezultati iskazani su u tablici 16. U njoj su iskazani takovi podaci još i za krivulje $tg\,\gamma = -1{,}2$ i $tg\,\gamma = +7{,}2$ za isti interval koeficijenta trenja prispodobe radi.

	$tg\,\gamma$	v_0 m/sec						
		10	15	20	25	30	35	40
R^m	− 0,3	43,66	98,22	174,62	272,84	392,89	534,77	698,47
	0	40,71	91,60	162,84	254,43	366,38	498,68	651,34
	4,2	12,34	27,75	49,34	77,09	111,01	151,10	197,36
ϱ_a^m	− 0,3	29,83	67,12	119,32	186,43	268,47	365,41	477,27
	0	40,71	91,60	162,84	254,43	366,38	498,68	651,34
	4,2	224,00	503,98	895,96	1399,92	2015,90	2743,87	3583,83
ρ_a^m	− 0,3	43,08	96,92	172,29	269,21	387,66	527,65	689,17
	0	44,14	99,32	176,56	275,87	397,26	540,71	706,23
	4,2	51,11	114,99	204,43	319,42	459,97	626,07	817,72
$\varkappa_a^m$	− 0,3	35,71	80,35	142,84	223,19	321,39	437,45	571,36
	0	37,09	83,45	148,36	231,81	333,81	454,35	593,44
	4,2	45,02	101,29	180,07	281,36	405,16	551,47	720,29
d^m	∞	33,98	76,45	135,92	212,37	305,81	416,24	543,66
γ_a^m	− 0,3	24,08	54,19	96,34	150,53	216,77	295,05	385,37
	0	23,93	53,84	95,72	149,56	215,37	293,14	382,88
	4,2	24,19	54,44	96,78	151,21	217,75	296,38	387,11
k^m	∞	16,99	38,22	67,96	106,18	152,90	208,12	271,83

T a b l i c a 18. Interval koeficijenta trenja: $\mu_1 = 0{,}50$; $\mu_2 = 0{,}35$

Primjer 3. Za interval koeficijenta trenja $\mu_1 = 0{,}50$ i $\mu_2 = 0{,}35$ / suha ljetna klizina / neka se odredi linija klizine, ako je $tg\,\gamma = +4{,}2$. Račun se odvija paralelno sa tablicom 17 . Nagib α_a uzet je iz tablice 10 .

Iz formule 97./ :

$$tg(\gamma - \varphi_a) = \frac{\cos\alpha_a - \ell^{-\alpha_a tg\gamma}}{\sin\alpha_a} = \frac{0{,}771065 - 0{,}055068}{0{,}636756} = 1{,}124445$$

Iz formule 98./ :

$$\frac{\rho_a}{R} = \frac{\cos\gamma \cdot \sin\alpha}{\cos(\alpha_a + \gamma - \varphi_a)} = \frac{0{,}23162 \times 0{,}636756}{0{,}036595} = 4{,}14342 .$$

Iz formule 99./:

$$n = \frac{\cos\varepsilon_2}{\cos\tau_2}\left[\cos(\varepsilon_2+\tau_2) - \cos(\varepsilon_2+\tau_2-\alpha_a)\,e^{-\alpha_a \operatorname{tg}\varepsilon_2}\right]$$

$$n = \frac{0{,}274719}{0{,}943859}\left[0{,}576935 + 0{,}07524 \times 11{,}20082\right] = 0{,}4132125$$

$$2n = 0{,}826425\,; \qquad \frac{1}{2n} = 1{,}21003\,.$$

Nada lje je :

$$R = \frac{1}{2n}\cdot\frac{v_0^2}{g} = 1{,}21003\,\frac{v_0^2}{g}\,;$$

$$\varrho_a = R\,e^{\alpha_a \operatorname{tg}\gamma} = 18{,}15933\cdot R\,; \qquad \varrho_0 = R\,;$$

$$\kappa_a = \frac{\kappa_a}{R}\,R = 4{,}14342\cdot R\,;$$

$x_a = \kappa_a \cos\varphi_a = 0{,}88085\cdot\kappa_a$; $y_a = \kappa_a \sin\varphi_a = 0{,}473398\cdot\kappa_a$.

Numerički podaci za razne vrijednosti v_0 sabrani su u tablici 18. Prispodobe radi iskazani su u toj tablici takovi podaci još i za krivulje : $\operatorname{tg}\gamma = 0$, $\operatorname{tg}\gamma = -0{,}30$ u istom intervalu koeficijenta trenja .

Iz tablice 13. vidi se, da je nagib na početku krivulje (α_a) to veći, dakle klizina to strmija, što je negativna vrijednost konstante $\operatorname{tg}\gamma$ veća, dotično, što je pozitivna takova vrijednost manja. Iz tablica 14, 16 i 18 pak izlazi :

Strme krivulje su kraće, a blage krivulje su duže uz istu sposobnost rada, t.j. u istom intervalu koeficijenta trenja i uz istu dozvoljenu brzinu (v_0) na kraju .Strmije krivulje od kružnice imaju najmanji polumjer krivosti na početku (ϱ_a), a položitije krivulje od kružnice na kraju (R). Nagib tetive krivulje $\operatorname{tg}\varphi_a$ kreće se kod / tabl. 13 / :

oledjene zimske klizine ($\mu_1 = 0{,}10$) u granicama : $1{,}00244\,\mu_1 \leqq \operatorname{tg}\varphi_a \leqq 1{,}01253\,\mu_1$

ovlažene ljetne " ($\mu_1 = 0{,}35$) " " : $1{,}02605\,\mu_1 \leqq \operatorname{tg}\varphi_a \leqq 1{,}15469\,\mu_1$

suhe ljetne " ($\mu_1 = 0{,}50$) " " : $1{,}07487\,\mu_1 \leqq \operatorname{tg}\varphi_a \leqq 1{,}34894\,\mu_1$

Taj se nagib općenito razlikuje malo od gornje granice koeficijenta trenja μ_1 i to s tim manje što je krivulja položitija / duža /, a s tim više što je krivulja strmija / kraća /, pa vrijednost koeficijenta trenja μ_1 što je veća.

U tablicama 14, 16 i 18 iskazane su takodjer horizontalno mjerene dužine d, pa visine h početne tačke (A) nad završnom (O) klizine, trasirane u pravcu stalnog nagiba $tg\alpha = \mu_1$. Dužine d računate su po formuli 11 b/, a visine h po formuli $h = \mu_1 \cdot d$. Kod malenih vrijednosti koeficijenta trenja μ_1, horizontalno mjerena dužina klizine (x_α), trasirane u luku povoljne naše krivulje, gotovo se i ne razlikuje od dužine klizine (d), trasirane u pravcu, u istom intervalu koeficijenta trenja, sa istom dozvoljenom brzinom v_0 na kraju. Što je ali vrijednost koeficijenta trenja μ_1 veća, to dužu klizinu daje naša krivulja. Tako na pr. u intervalu koeficijenta trenja $0{,}35 \leqq \mu_1 \leqq 0{,}50$, vidi se iz tablice 18., horizontalno mjerena dužina naše krivulje, uz $v_0 = 40\ m/sec$, može da iznosi $x_\alpha = 571{,}36$ do $720{,}29\ m.$, dok dužina pravca samo $d = 543{,}66\ m.$

Općenito dužina klizine raste sa dozvoljenom brzinom na kraju v_0, bez obzira na oblik njezine linije. No uz svaku vrijednost v_0 ne može imati oblik krivulje. Ova se može upotrijebiti tek uz veće vrijednosti v_0 i to s tim veće, što je veća vrijednost koeficijenta μ_1, zbog krivosti, koja je ograničena potrebama prometa ($\varrho \geqq 200\ m.$). Tako na pr. uz $\mu_1 = 0{,}10$ / zimska oledjena klizina / treba da je svakako $v_0 > 10\ m/sec$, a uz $\mu_1 = 0{,}30$ / ljetna suha klizina /, da je svakako $v_0 > 25\ m/sec$. U protivnom slučaju ispada polumjer krivosti manji od 200m ili na početku ili na kraju ili u svakoj tačci krivulje. Uz manje vrijednosti v_0 od ovih / kratke klizine /, treba dakle trasirati klizinu u pravcu. Što je pak veća dozvoljena vrijednost v_0 na kraju, to veću prednost pred pravcem ima krivulja, jer daje dužu klizinu. Ta razlika u dužini raste takodjer sa vrijednošću koeficijenta μ_1.

Konačno se vidi iz tih tablica, da sa vrijednošću μ_1 raste i visinska razlika (y_α) početne nad završnom tačkom klizine. Kod 500 do 700 m. dugačke ljetne klizine visinska razlika iz-

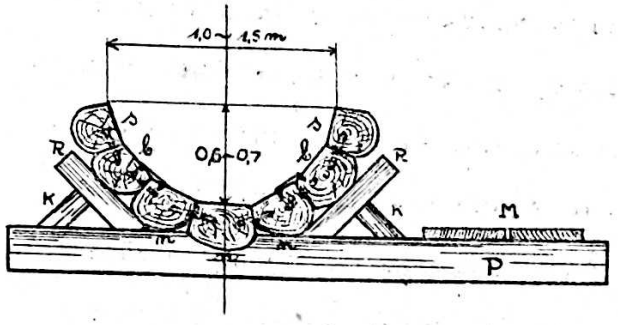
nosi čak 300 do 400 m. Odatle jasno izbija gorski karakter ovog transportnog sredstva.

U svakom slučaju glavna prednost krivulje pred pravcem leži u tome, što nije vezana na jedan jedini oblik. Spretnim izborom konstante $tg\gamma$ može se prilagoditi terenskim prilikama u konkretnom slučaju tako, da će biti troškovi izgradnje klizine, prometa i uzdržavanja svedeni tek na najnužnije mjere. No i u slučajevima, u kojima linija klizine ne može da točno slijedi našu teoretsku krivulju, ni u uzdužnom profilu, ni u situaciji, najbliža teoretska linija može poslužiti za procjenu sposobnosti rada takove klizine. Nijesu li diferencije izmedju jedne i druge linije velike, klizina će biti sposobna da radi uz najveći dio vrijednosti koeficijenta trenja u intervalu najbliže teoretske linije .-

9. V o d e n o t o č i l o .

a.) Općenito. U vodenom točilu giba se drvo takodjer zbog gravitacije. Uz malo vode i veći nagib, klizi drvo u njem. Uz više vode i manji nagib, klizi drvo tek djelomično a djelomično pliva. Uz mnogo vode i malen nagib drvo samo pliva u njem. Vodeno točilo čini dakle prelaz od suhog točila / klizina / do vodenih kanala, udešenih za plavljenje. Taj prelaz vidi se i na konstrukciji vodenog točila. Sad pokazuje svrsi shodno preudešeni oblik suhog točila, sad opet oblik kanala, sa prelaznim oblicima do suhog točila. Gradi se i neposredno na tlu, ako je povoljnog nagiba, pa nad tlom na zgodno udešenim jarmovima. Općenito razlikuje se gornji stroj od donjega. No ima i specijalnih konstrukcija, kod kojih jedan bez drugoga jedva čini zasebnu cjelinu. Bitno se razlikuje od suhih klizina po naročitim uredjajima, kojima je svrha osigurati i regulisati jednoličan dovod vode u točilo kroz što duži dio godine.-

b) Gornji stroj. U polukružnom profilu gradi se na način predočen na slici 45. i 47. Žlijeb je izradjen slično kao kod suhog točila od oblica, koje su pritesane sa tri strane tako, da pokazuju dva oš-

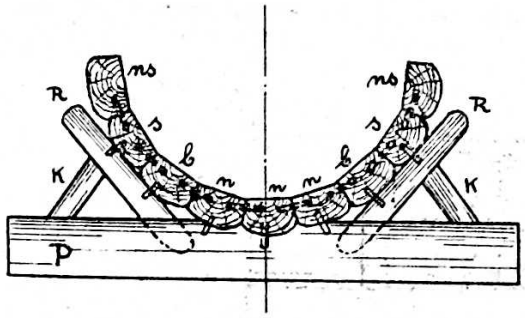


Slika 45.

Slika 46.

tra brida. Dno žlijeba sastoji od tri nosača (n), koji su nješto upušteni u podložnu gredu (P) i pričvršćeni o nju još sa drvenim klincima.

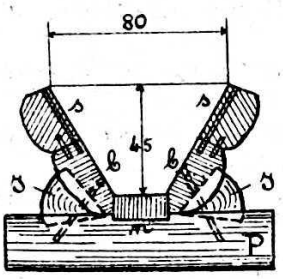
Na nosače prislanjaju se braniči (b) i sedlice (S), a u krivuljama još i nasedlice (ns). Sedlice su nataknute na drvene klince, koji su usadjeni u braniče, a nasedlice na klince, koji su usadjeni u sedlicama. Osim toga podbočen je žlijeb po stranama sa ručicama (R) i kosnicama (K) na svakoj podvali. Promjer oblica odabire se tako, da najveća dubina žlijeba iznosi 50 do 60 cm., a najveća širina 100 do 150 cm. / u pravcu manje u krivulji više /. Žlijeb je složen redovno od 7 do 9 komada tako obradjenih i ugradjenih oblica. Sve su oblice jednako duge, stiču se u istom profilu, na preklop. Dužina jednog takovog dijela žlijeba, od stika do stika, mjeri 5 do 7 m. u pravcu, a 2,5 do 3,5 m. u krivulji. Iako se oblice prislanjaju jedna na drugu sa pritesanim stranama, reške medju njima treba još naročito zagušiti, da ne propuštaju vodu. U tu svrhu izgrebe se i proširi još reška na nutarnjoj strani žlijeba u oblik trokuta u profilu / sl.46. / . U grebotinu nagura se kučina ili mašina pa zabije šipka ili trijeska, izradjena u obliku klina, koja potisne kučinu ili mašinu na stijene, duboko u rešku tako, da ne propušta vodu. Šipku ili trijesku podržavaju u njezinom položaju naročito izradjene i zabijene skobe / sl.46./.



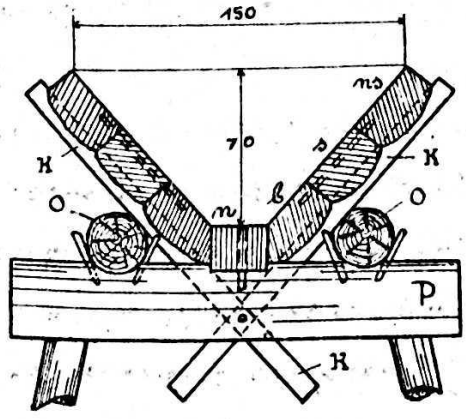
Slika 47.

Šuperenje treba obnavljati i za vrijeme pogona, jer drvo klizeći u žlijebu trenjem i dinamičkim udarcima rado razgiba žlijeb i otvori opet reške. Na strmijim potezima, na kojima teće voda u tankom mlazu, zbog toga rado oblažu dno žlijeba sa željeznim, plosnatim, cca 7 m/m jakim šinjama. U svakom slučaju bit će potrebno obilaziti žlijeb,i za vrijeme pogona.Zbog toga je uz vođeno točilo potrebna i poslužna staza, obično jedna ili dvije daske, položene pokraj žlijeba na podvale /M sl. 45. / .

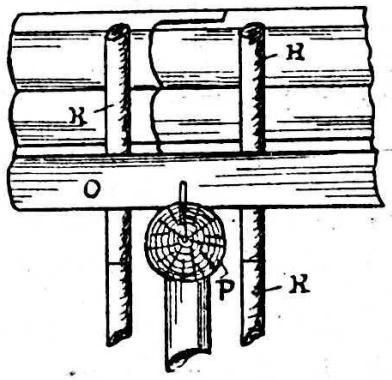
Manji profil gornjeg stroja, izvedenog u obliku trapeza, predočuje slika 48. Dno žlijeba čini četverobridno otesan nosač (n) koji počiva na podvalama (P) u koje je nješto i upušten, pa drvenim klincima pričvršćen. Na nosač i podvalu prislanjaju se branići (b) , a na ove drvenim klincima pričvršćene sedlice (s) . Na krajevima svakog odjela učvršćene su stijene žlijeba o podvale naročito izradjenim klinovima y / t. zv. jazavac / . U tu svrhu izradi se na vanjskoj strani branića 4 do 5 cm. široka i 5 do 7 cm. duboka rupa, pa isto takova rupa u podvalama. U te rupe zatjera se



Slika 48.



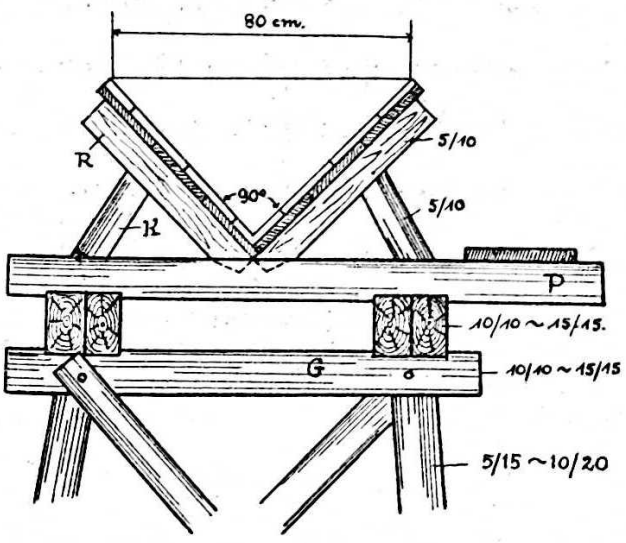
Slika 49 a.



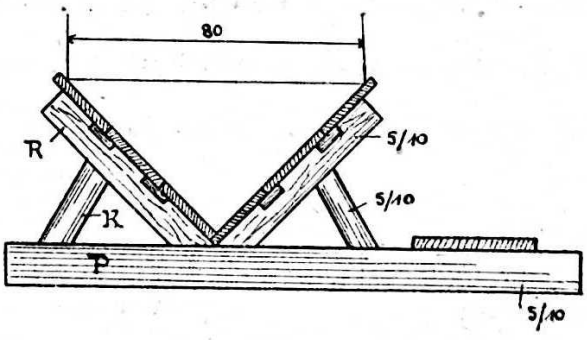
Slika 49 b.

klin y odozgo prema dolje. Na taj način bude dobro pritisnuta stijena žlijeba kao na nosač n tako i na podvalu P . Konačno se zabije dugačak drveni klinac kroz branič i klin u podvalu koso iznutra žlijeba prema van. Popusti li s vremenom spoj,naknadno se učvršćuje;

da se tjera još jedan klin u rupu izmedju braniča i jazavca. Na medjupodvalama učvršćen je branič samo kosim običnim klinom i protuklinom sa vanjske strane tako, da kosi klin prolazi malim žlijebom, izdubenim na vanjskoj strani braniča. Već i najjači gornji stroj, izradjen u obliku trapeza, predočuje slika 49 *a* . u profilu, a slika 49 *b* . u pogledu sa strane. Dno žlijeba čini opet četverobridno otesan nosač *n* . Stijene žlijeba nagnute su prema horizontali pod kutem od 45°, a sastoje od braniča (*b*) i sedlice (*s*) normalno, pa još i od nasedlice (*ns*) u krivuljama i na strmim potezima u pravcu. Pojedine grede iste stijene spojene su medjusobno drvenim klincima, koji prolaze sedlicu naskroz. Stijene podržavaju u označenom položaju, za ovaj profil tipični križevi (K), po dva na svakom stiku dvaju odjela. Svaki križ / t.zv. bajoni / upušten je u žlijeb, izduben na vanjskoj strani stijene žlijeba. Na gornjem kraju prislanjaju se križevi na uzdužne oblice *O* , a na donjem kraju na vlastito sjecište, izgradjeno na preklop, pa učvršćeno klincem. Uzdužne oblice upuštene su u podvalu i obostrano fiksirane drvenim klincima. One teku od podvale do podvale neprekinuto. Zbog toga, da se uštedi na drvu, upotrebljavaju gdjekad tek toliko dugačke oblice *O* i to samo na stiku, koliko je potrebno za podupiranje križeva. No u tom su slučaju potrebne dvije podložne grede *P* .



Slika 50 .

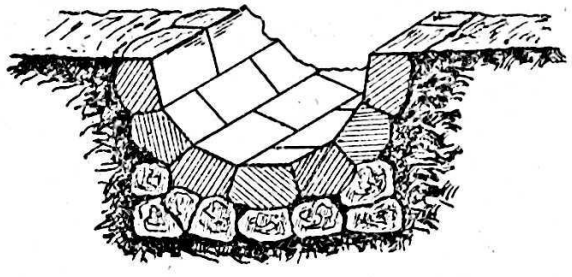


Slika 51.

U Americi najradje upotrebljavaju gornji stroj, koji pokazuje oblik trokuta u profilu / *V* profil / . Žlijeb je u vrhu re-

dovno 80 cm. širok, a stijene stoje vertikalno jedna na drugoj, prema horizontali nagnute pod kutem od 45° . Može se izraditi ovakav žlijeb i od dvobridno otesanih oblica, no obično su stijene žlijeba izradjene od dasaka, a ostalo od četverobridno otesane ili piljene gradje. Nepropusnost žlijeba postizava se dvostrukim redom dasaka / sl. 50. / ili, da se uštedi na materijalu, pokrovnim letvicama koje su pribite na vanjskoj strani stijene žlijeba, izradjenog od jednostrukog reda dasaka / sl. 51. / . Pokrovne letvice prekrivaju reške od ručice do ručice (R) ili dapače i prolaze kroz ručice, kroz izrezane rupe u njima. Čavli se pribijaju sa vanjske strane, a njihovi šiljci saviju na unutarnjoj stijeni žlijeba u smjeru transporta. Na taj način ne smetaju prometu, nasuprot budu od transportnog drva sve bolje potisnuti u stijenu. Razmak podvala (P) mjeri 1,0 m. u pravcu, a 0,5 m. u krivulji. Jarmovi sa glavnjicom (G) stoje u razmaku od 5,0 m. u pravcu, a 3,0 m. u krivulji.

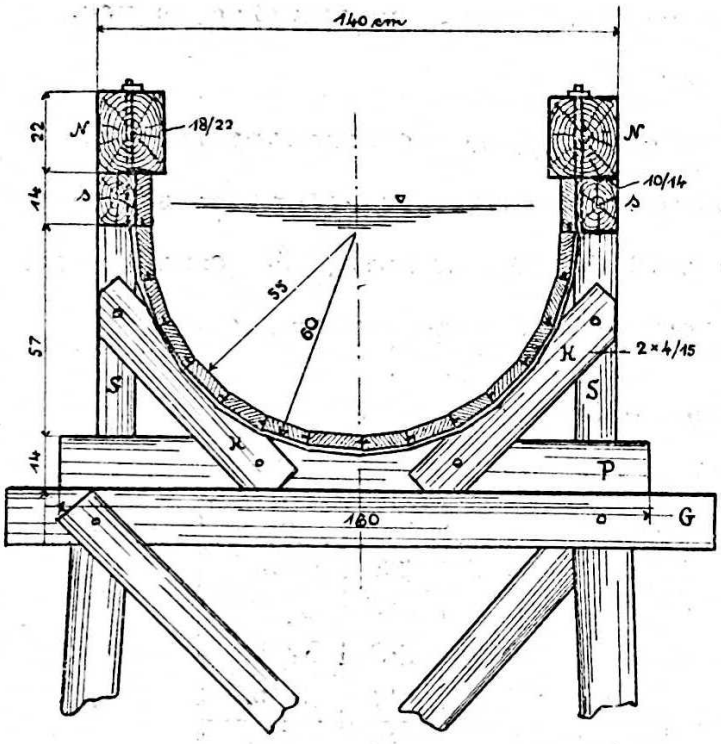
Vrlo je dugotrajno vodeno točilo, ugradjeno neposredno u zgodno naravno tlo. Iskopa se jarak, pa se u nj položi podloga sa žlijebom, prije već opisanog polukružnog profila, izradjenog od dvobridno otesanih oblica / sl. 45. / . Ako je tlo dovoljno nepropusno, a ima dovoljno vode, žlijeb se može izraditi i od samo dvostrano otesanih oblica, pa šuperenje ograničiti tek na veće rupe. U tu svrhu može poslužiti i drvo manje vrijednosti. Konačno, ima li dobar kamen tesanac jeftino pri ruci, žlijeb se može izgraditi i od takovog kamena na solidnoj podlozi od kamenog sloga, u dovoljno nepropusnom tlu. Slika 52.



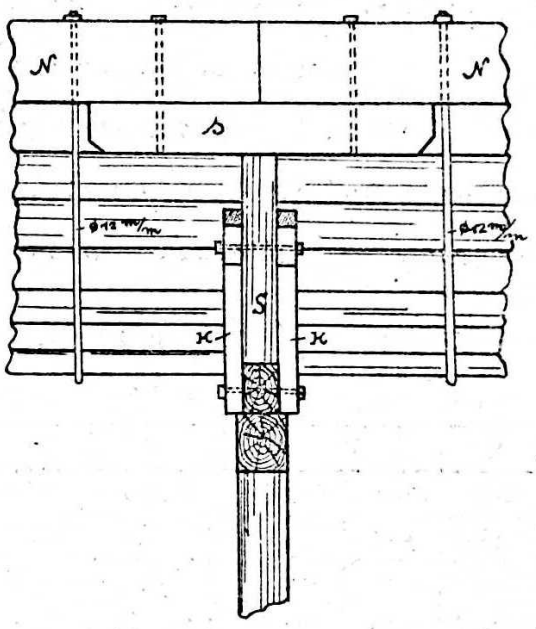
Slika 52.

U prilikama, u kojima se vodeno točilo po svom karakteru više primiče vodenom kanalu, u novije doba često se gradi žlijeb

od drvenih dužica, 4 do 5 cm. jakih, 11 do 13 cm. širokih, a 4 do 6 m. dugačkih. Dužice su izradjene na šip i pero, a stegnute su u oblik žlijeba željeznim obručima, u razmacima redovno od 1,0 m. Takav žlijeb može biti ukručen još i poduprt u varijacijama, od kojih najuspjeliju donosimo ovdje na slici 53*a*. / poprečan presjek / i slika 53 *b*. / pogled sa strane /. Tipično je kod ove konstrukcije, da žlijeb visi na glavnim uzdužnim nosačima (*N*). Ovi nosači počivaju pak na okvirima, smještenima u razmacima od 5 do 8 m. Okvir sastoji od podložne grede (*P*), dvaju stupova (*S*) na kojima leže kratka sedla (*S*).



Slika 53 a.



Slika 53 b.

Stupovi spojeni su sa podlogom s pomoću kosih kliještiju (*K*) tako, da je okvir dovoljno ukručen i proti horizontalnom pritisku vode u žlijebu. Pošto su okvir i nosači montirani, provuku se kroz posljednje željezni obruči, na kojima će visiti žlijeb. Potom se polažu dužice, odozdo prema gore, od sredine prema krajevima tako, da šip udara na pero. Zbog bolje nepropusnosti nastoji se, da u isti profil dodje samo po jedan stik dužica, koje se još i naknadno zagušuje sa 2 m/m jakim željeznim pločicama. Pošto su dužice montirane, udaraju po njima s nutarnje strane naročitim batićima, pa pritežu sve većma

matice obruča, dok svako pero dobro ne udje u odgovarajući šip, a žlijeb ne poprimi posve glatku površinu. Ova konstrukcija zaštićena je patentom / Ohrag / .

Od opisanih gornjih strojeva najneracionalnije je polukružno točilo, zbito od oblica. Troši mnogo na drvu, mučno se izradjuje i teško zagušuje. Postignuta nepropusnost nije trajna. Zbog toga pa i poradi razmjerno velikog profila protjecanja troši mnogo vode. Najracionalnije je kao obzirom na drvo, tako i obzirom na vodu amerikanski tip točila, trokutnog (V) profila, ako se izradjuje iz piljene gradje. Po srijedi stoji točilo trapeznog profila. Točila od dužica upotrebljavaju se tek na potezima vrlo blagog nagiba ($< 1\%$), u kojima ne klizi drvo, nego pliva, a voda se upotrebljava još i u druge svrhe.

Računa li se brzina vode u žlijebu po poznatoj formuli $v = c\sqrt{R \cdot J}$, dobro mogu poslužiti podaci pronadjeni na amerikanskim točilima, a sabrani u tablici 19., u kojoj t označuje uz stijenu V profila mjerenu kosu dubinu vode / u cm. / .

T a b l i c a 19.

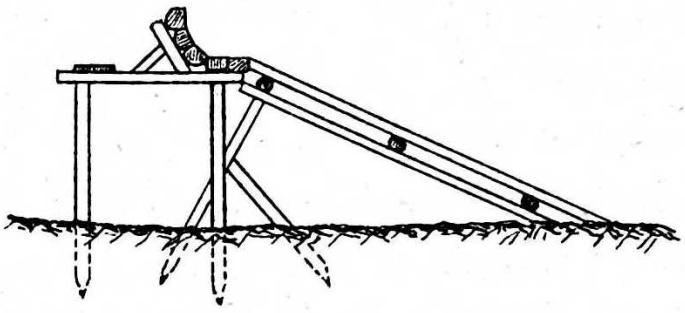
t	C	R	t	C	R	t	C	R
50,8	108	12,71	86,36	121	21,58	121,92	128	30,48
55,88	111	13,95	91,44	122	22,86	127,00	129	31,70
60,96	113	15,24	96,52	123	24,14	132,08	130	32,92
66,04	115	16,52	101,60	124	25,39	137,16	131	34,14
71,12	116	17,77	106,68	125	26,67	142,24	132	35,66
76,2	118	19,05	111,76	126	27,95	147,32	132	36,88
81,28	119	20,33	116,84	127	29,20	152,40	133	38,10

Vrijedi ova tablica samo do nagiba 10 % / $J \leqq 0{,}10$ /.-

C.) Donji stroj. Već prema liniji, vodeno točilo leži ispod, iznad tla ili neposredno na tlu. Općenito se zemljoradnje izbjegavaju. Duboki usjeci su isključeni. Ako je potrebno, polaže se žlijeb tek toliko duboko u prikladno tlo, da je u njemu potpuno ugradjen. Iznimno prolazi točilo i kroz kratke rovove / tunele /.

U najviše slučajeva, pa u najvećoj česti leži točilo nad tlom, na svrsi shodno izvedenom donjem stroju na način, opisan kod suhog točila. Nisko točilo poduprijeto je tek podvalama, više jarmovima i sanducima, a još više skelom. Savršenija i stalna točila počivaju i na betonskom podnožju neposredno ili posredno preko jarmova. Upotrebljena drvena gradja mogu biti oblice i četverobridno tesana ili piljena gradja. Posljednja naročito kod prenosivih amerikanskih točila. Voda u žlijebu povečaje težinu točila. Ovo opet treba da je trajno nepropusno i pod dinamičkim udarcima prometa. Zbog toga potrebno je izvoditi donji stroj vrlo solidno, dobro ukrutiti ga uzduž i poprijeko, prema prilikama osigurati i od drugih elementarnih sila. Tako na pr. najzad opisano točilo od drvenih dužica, leži li na ovisokim jarmovima, usidreno je još obično i željeznom žicom u naravno tlo, da se osigura od navale vjetra.

dj) Ostali uredjaji. Vodeno točilo treba snabdjevati sa vodom. Početak mu s toga leži redovno u dolini dosta izdašnog vodotoka, na mjestu, koje je i inače zgodno za sakupljanje i daljnju otpremu robe. Da se osigura jednoličan dovod vode, kroz duže vrijeme, najčešće bit će od potrebe pregraditi vodotok branom, a ovu snabdjeti sa napravama, koje će ekonomisati sa magaziniranom vodom u ustavi iza brane, pa propuštati u točilo tek za promet potrebnu količinu vode.

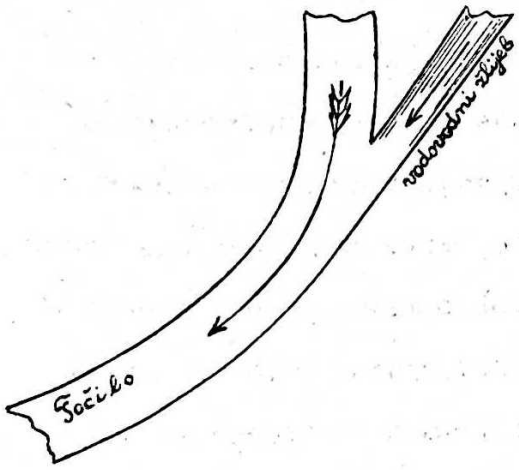


Slika 54.

Najjednostavnija takova brana je 1 do 1,5 m. visok sanduk ispunjen kamenjem. Na vrhu ima otvor izradjen u profilu točila. Nješto niže ispod ovoga leži otvor, kroz koji se propušta voda, kad točilo ne radi. Treći otvor čini preljev, kroz koji prolazi se suvišna voda, a može s njime i regulisati vodostaj u ustavi brane. Jednako može poslužiti kao brana i poprijeko potoka podignuta sti-

jena od dvostrano natesanih balvana sa šuperenim reškama na uzvodnoj strani, na poznat način, pa sa kosim, jednako izgradjenim krilnim stijenama, koje čine priključak brane na obale. U vrlo povoljnim prilikama moći će se snabdjeti točilo vodom možda samo s pomoću jednostavnog vodovodnog žlijeba. Redovno ipak prilike iziskuju izgradnju stručno osnovane brane većih dimenzija, naročito kod stalnih uredjaja za kombinovanu otpremu robe točilima i plavljenjem.

Što je točilo nesavršenije, to više propušta vodu. Zbog toga bit će od potrebe ponovno dovoditi vodu u nj, u primjerenim razmacima, naročito kod točila, izradjenog od oblica. U tu svrhu upotrijebit će se izvori i pritoci u koliko se usput nadju, pa iz njih dovoditi voda jednostavnim žlijebovima. Zgodna mjesta za priključak tih žlijebova su konveksne strane točila u krivulji. Nova struja vode smanjuje nepovoljno djelovanje centrifugalne sile na takovim mjestima. U pomanjkanju izvora ili pritoka nema druge, nego dovoditi vodu iz glavnog vodotoka. Bit će dakle od potrebe opet podizati brane, usput, iako možda manjih dimenzija.- Gdjekada cijeli takav način transporta nije nego niz brana, podignutih u primjerenim razmacima poput stepenica u glavnom vodotoku. Od jedne do druge ustave djelomično klizi drvo u točilu, a djelomično pliva u vodotoku. Na taj način moguče je i dobro ekonomisati vodom, jer se može koncentrirati i upraviti voda od brane do brane, paralelno sa transportom, baš na poteze, u kojima se drvo momentano nalazi. Svi ti uredjaji zavise naravno o konkretnim prilikama, a sastat ćemo se još s njima kod plavljenja.



Slika 55.

Na kraju, svršava li točilo na stovarištu ili pretovarištu, potrebni su uredjaji za sortiranje pa istovar dopremljene robe. Za sortiranje služe skretaljke, izradjene na opisan način kod

suhog točila ili konstruirane svrsi shodno slično, već prema tipu točila. S pomoću tih skretaljki razgranjuje se glavno točilo u ogranke, u kojima se otprema odredjeni sortiment do odredjenog mjesta na stovarištu. Najjednostavniji završetak takovog ogranka je " bacalo ", izradjeno slično kao kod suhog točila / isporedi na pr. sl. 27. / . Primitivan ovakav način istovara je neuredan, nepravilan i nesiguran, skopčan sa ponovnim trudom i radom kod sortiranja za daljnju otpremu. Bolji uredjaj predočuje slika 54. Kraj ogranka treba da je izdignut nad stovarištem 1.0 do 2 m. Pred krajem, u dnu točila izrezana je rupa 0,5 m. široka, 1,5 do 2,0 m. duga i premoštena sa željeznim šinjama / roštiljem /. Kroz nju propada voda iz točila, pa odilazi odvodnim kanalom ispod točila sa stovarišta. Posljednji dijelovi žlijeba s jednostrane su otvoreni / kod žlijeba od oblica na pr. otstrane se braniči i sedlice / , a drvo se valja preko zgodno priključene kosine, 14 do 20 m. široke, na stovarište. Modernije i savršenije takove uredjaje opisane su u slijedećem poglavlju / vidi " Plavljenje " / .

l.) Linija vodenog točila treba da je što više ispružena. U tom pogledu rečena već pravila za ostale klizine, vrijede i ovdje. Nagli prelazi smjera kao u uzdužnom profilu, tako i u situaciji su isključeni. Medju dvijema krivuljama protivnog smjera treba da leži pravac barem dvostruko dugačak kao što je najduže drvo, koje se otprema. Vertikalne i horizontalne kružnice treba izvoditi polumjera krivosti kao kod putoklizina, a posljednje ne bez prelazne krivulje. Stijene žlijeba u krivuljama treba da su pravilne, tačno zagladjene u propisani oblik. Potpore i jarmovi u krivuljama treba da su nagusto položeni i dobro ukručeni. Nepravilnosti u tom pogledu uzrokuju uspor, pa gomilanje transportirane robe, prelijevanje, dakle gubitak na vodi, pa još i druge veće štete. Najveći nagib neka je manji od 20 %. U pravilu neka nije veći od 10 % . Najpovoljniji nagib mjeri 4 do 6 % . Na stovarištu 1 do 2 % . Uz manji nagib od 1 % ne klizi, nego pliva drvo u točilu.-

f.) Zaključak. Glavne odlike vodenog točila su : jeftin pogon, mogučnost otpreme svake vrsti drva, dapače i kore uz najmanji kvantitativni i kvalitativni gubitak. Štite tlo, a mogu se postaviti i na sloju, sklonu puzanju, na golo, litičasto tlo,dakle upotrijebiti u prilikama, u kojima druga transportna sretstva ili su isključena, ili neekonomična, zbog prevelikih investicija. Uz obilje vode može se otpremati u njemu roba gotovo kroz čitavu godinu,prilično nezavisno o vremenu. S druge strane vodeno točilo je skupocijeno transportno sretstvo. Troši mnogo drva i mučno se gradi. Za izgradnju 1 tm. treba 0,20 do 0,40 šumskog kubnog metra drva. K tome se od prometa troši, pa je za daljnje njegovo uzdržavanje potrebno cca 10 do 20 % nove gradje godišnje. Nije trajnog karaktera. Već prema položaju propada za 3 do 10 godina potpuno. Suncu izloženo prije,a stalnoj vlazi kasnije. Najduže i preko označenog roka traje potpuno u tlo ugradjeno točilo. Elementarne nepogode, poplave i t.d. u najmanju ruku čine smetnje u prometu, a mogu ga uništiti i posvema. Zbog kratkotrajnosti, ne otvara šumu stalno. Nakon izvršenog transporta, šuma ostaje zatvorena, kskova je bila i prije. Nekada se je vodeno točilo mnogo gradilo, pa upotrebljavalo i kao glavno transportno sretstvo. Naročito u besputnom kraju,kad je trebalo eksploatisati nepristupačne prašume, prebogate na drvu. Iz tih prašuma izlazeći potoci, izdašno snabdjeveni sa vodom, a zbog terenskih prilika za plavljenje nepodesni, sami su upućivali na ovaj način izvoza. Pogotovo kad na obilju raspoloživo drvo nije imalo još cijenu, dapače neiskorišćeno propadalo u gori, zbog nepristupačnosti. Tako na pr. u Bosni u Kosindolu, prije svjetskog rata izgradjeno vodeno točilo, u dužini od 15 kilometara,služilo je kao glavno transportno sretstvo za okolišne prašume. Potrebnu vodu primalo je iz 14 vodovoda. Žlijeb bio je zbit od pritesanih oblica, poduprt sanducima, pa snažnim jarmovima. Uzmu li se u obzir još mnogobrojne brane, vodovodi, razne uredbe na stovarištu, pa materijal, potreban za uzdržavanje, lako si je predočiti ogromnost utrošene gradje, pa njezinu

vrijednost, zbog koje bi danas drugo koje transportno sretstvo, trajnog karaktera, zacijelo imalo prednost. Dosta je spomenuti, da od cijelog tog točila nakon izvršene eksplostacije, nije preostalo ništa.

Unatoć opisanih mana vodeno točilo ipak je priznato odlično, dapače prema prilikama neophodno potrebno transportno sretstvo. Naročito u novijem dotjeranom obliku, kao pomoćno i sporedno transportno sretstvo u vezi sa plavljenjem, pa i u drugim prilikama kao kraće samostalno transportno sredstvo naročito, ako je potpuno ugradjeno u tlo. Ovakovo točilo može se kombinovati sa suhim točilima, koja ulaze u nj kao pritoci. Dobro će poslužiti i na stovarištima za sortiranje i istovar robe, redovno opet u vezi sa plavljenjem .

U novije doba, otkad se nastoje sredstva za izvoz što bolje racionalizirati, vodeno točilo ponovno je dobilo vrijednost, jer ne služi samo za transport drvene robe, nego i za dovod vode, koja se upotrebljava u razne svrhe na stovarištu, pa za pogon strojeva na pilani.

Literatura:

Förster : Das forstliche Transportwesen . Wien 1888.g.

Kubelka : Der Riesweg als Holzbringungsanstalt des Hochgebirges . Wien 1903.g.

Augerholzer : Forstliche Riesbauten . Wien 1911.g.

Glatz : Rieswege und Drathseilriesen .

Engel : Oesterr. Holz-Industrie . Wien 1907.g.

Koroleff and Bryant : The transportation of wood in chutes. New Haven 1932.g.

Hauska : Riesanlagen und Seilbahnen . Wien 1933.g.

Flögl : O putoklizini u krivulji. Glasnik za šumarske pokuse br. 3. Zagreb . 1931.g.

Flögl : Das Riesweg Laugenprofil. Tharndt. forst.Jahrbuch Bd. 85, Heft 8.

B. P L A V L J E N J E

1.) O p ć e n i t o .

Plavljenje je zacijelo najstariji, do nedavnog doba dapače jedini način transporta, na koji se dopremalo drvo, nagomilano u dalekim gorskim krajevima, do naseljenih mjesta. Počelo je gubiti na svojoj važnosti sa razvitkom drugih transportnih sretstava / puteva, željeznica, žičara, motora i t.d. / naročito : kad je gorivo drvo prestalo biti glavni predmet izvoza / rudarstvo /, kad je potražnja za drvom u gradjevne, obrtne i industrijske svrhe postala sve veća i kad je trebalo otpremati veliku masu u kratkom vremenu, nezavisno od godišnje dobe.

Zastoj ovog načina transporta nije bio ali ni vremenski ni prostorno općenit. Zanemaren je najprije u krajevima i na vodotocima od prirode za plavljenje nepodesnima. Najčešći bio je pak razlog zastoju primitivnost, nesavremenost a onda i neracionalnost cjelokupnog uredjenja. Naravni vodotok naime rijetko je podesan za plavljenje na veće udaljenosti bez stručne i vještačke pomoći. Mjestimične zapreke : plićine, brzice, pragovi, tjesnaci, prudišta i t.d. prekidaju kontinuitet transporta. Ovakve zapreke treba ukloniti ili robu prenijeti preko nje drugim kojim transportnim sretstvom. Ovo posljednje povisuje naravno troškove transporta, gdjekad i to-liko , da se plavljenje napušta djelomično ili uopće naročito u slučaju ako transport na drugi koji način ima još kakovu prividnu ili privremenu prednost. Uklanjanje ovakove zapreke, gdjekada i nekada zacijelo težak tehnički i financijski problem, postajao bi sa kasnijim i bujnijim napretkom tehnike, pa sa sve većom potražnjom na drvu sve manji i laglji, te u pravo vrijeme riješen, često i od opće ekonomske vrijednosti. Jer starije plavljenje stajalo je prema novijim transportnim sretstvima u sličnom odnosu, kao put / cesta / prema željeznici. Svojom velikom brzinom, pa obilnim kapacitetom

zasjenila je željeznica put i njegov u jednom i drugom smjeru kud i kamo zaostali promet u prvi čas silno. No istodobni napredak u strojarstvu i u gradjevinarstvu, koji je stvorio motor i moderan kolnik brzo je putu povratio, dapače povečao prijašnju vrijednost i važnost. Danas već stoji mišljenje, da je za pravilan i opći ekonomski razvitak svake zemlje potrebna dobra i gusta mreža cesta, koja će i po svojoj konstrukciji potpuno odgovarati prometnim zahtjevima modernih prevoznih sretstava. U odnosu pak prema željeznici, ceste se danas smatraju faktorom, od koje zavisi ekonomsko stanje i samih željeznica, u najvećem stepenu. Putevi postaju sve važnijim transportnim sretstvom, jednako kao i željeznice, sa kojima ne konkurišu, nego upopunjuju mrežu transportnih sretstava, potrebnih za napredan standard života modernih država. Na jednaki način nova i druga transportna sretstva nipošto ne stoje u kakovoj apsolutnoj prednosti pred plavljenjem, ako je ono udešeno u duhu vremena i dotjerano prema najnovijim tečevinama gradjevinarstva. Nasuprot u povoljnim prilikama plavljenje ima prednost, jer su potrebne investicije za uredjenje vodotoka malene, pogon besplatan, a ini troškovi prometa minimalni, kud i kamo manji od takvih troškova ostalih transportnih sretstava. Osim toga u novije doba iskorišćuje se vodotok i voda u njem ne samo kao put i pogon, koji dopreme robu do odredjenog mjesta nego i kao pogonska sila, koja s pomoću svrsi shodnih naprava sortira, pili i reže dopremljenu robu, dakle preobrazuje surovinu i dotjeruje u vrijedniju i skupocjeniju robu, većinom automatski, uz minimalan trošak. Naravno, kao za svako, tako i za ovo transportno sretstvo vrijedi pravilo, ne valja ga forsirati tamo, gdje mu nema mjesta. Isto tako i pravilo . polovično, nestručno ili nedovoljno proučene i preduzete mjere za volju prividno niskih investicija; ili propusti u izvedenju potrebnih naprava u pravo vrijeme, zbog na oko prevelikih investicija, mogu biti razlogom neuspjehu i štetnim posljedicama u dalekoj budućnosti, u konkretnom slučaju. Zbog takih posljedica ostali su mnogi inače povoljni vodotoci neiskorišćeni za plavljenje. Dapače takovi

propusti utjecali su negativno na šumsko gospodarenje gdjekad velikih rajona, jer je drugi način transporta udario smjerom, i na način, koji nije u skladu sa modernim principima šumskog uzgoja i gospodarenja.

U posljednjem pogledu može poslužiti kao primjer još i danas podivljani potez Vltave pod Čertovom Stijenom u Višem Brodu u Češkoj. Gornjom Vltavom naplavljeno drvo iz gorskih krajeva sve do Lipna, iznad Višeg Broda, treba vaditi iz vode, otpremati na kolima u Viši Brod zbog te zapreke. Tu se jedan dio robe veže u splavi i dalje otprema Vltavom, a drugi dio tovari na električnu željeznicu, te otprema na željezničku stanicu Cartli. Sam ovaj prekid i preinaka transporta kod Višeg Broda iznosi dvije trećine ukupnih troškova transporta, koji počinje u Šumavi, u gorskom na šumama bogatom kraju, a svršava u Pragu. Svojedobno radilo se na tome, da se postigne kontinuitet transporta, da se taj podivljali potez obidje sa 6 km. dugačkim kanalom / 5,5 % nagiba / i na taj način snize troškovi transporta. Dobra ova i pravovremeno zamišljena osnova najprije nije naišla na potporu kod tadašnjih financijskih krugova / još prije god.1788. / , a poslije niti na razumijevanje kod onih, koji su na tom mjestu podigli vodenu električnu centralu. Tako je taj podivljali potez ostao zaprekom neprekinutog transporta drva po Gornjoj Vltavi još i danas. Ovo nerazumijevanje nije nanijelo štete samo transportu, nego je prouzročilo još i drugu veću štetu : koncentrisano rudarstvo niže Višeg Broda nerazmjerno je opustošilo okolišnje najbliže šume.

Plavljenje može biti od općeg i javnog interesa, vidi se iz ovog primjera. U sve većoj utakmici izmedju naroda i država, da se producira i baca na tržište dobra roba što jeftinije, plavljenje ima i te kakovo značenje. Naročito u državama, zemljama ili krajevima, koji obiluju u tu svrhu podesnim vodotocima. Takav vodotok dolazi u obzir u prvom redu kao šumsko transportno sredstvo jer ima od prirode već više manje gotov put, besplatnu pogonsku snagu, a i lako se privozi roba do njega, jer teče u dnu doline. Kao

transportnom sretstvu u šumske svrhe, osigurano je pravo plavljenja i splavarenja, baš zbog spomenutih općih interesa i u zakonodavstvu svih modernih država, sad više sad manje, već prema općim hidrografskim prilikama i po potrebama industrije sa drvom. Na temelju pak do sada stečenog iskustva u svakom gotovo praktičnom slučaju može se postići racionalan sklad upotrebe vodotoka kao i ostale gospodarske, obrtne ili industrijske svrhe, tako i u svrhe plavljenja, dotično splavarenja uz pravovremeni, promišljeni i za sve interesirane stranke dovoljno obzirni postupak.

Plavljenje povezano je redovno i sa drugim šumskim transportnim sretstvima, naročito sa onima sporednog karaktera, kojima je u glavnom svrha primaći robu iz sječe do vodotoka / klizine, točila, čekrci, sporedni putevi i pruge / . No i sam naravni vodotok poprima gdjekad oblik i drugog kojeg transportnog sretstva, na potezima nepodesnima za neposredno plavljenje / naročito oblik točila pa vještačkog kanala / . Ima dapače zgoda, u kojima prirodni vodotoci tek snabdjevaju vodom vještački izgradjene kanale u kojima se uistinu odvija plavljenje u većim potezima ili čak od početka pa do kraja. Naročito pak često prelazi plavljenje u splavarenje ili obrnuto pa i na druge još moguće načine otpreme robe na vodi. Plavljenje je još i danas prvorazredno transportno sretstvo, sad većeg sad manjeg opsega, već prema prilikama, a služi jednako promicanju šumskog gospodarstva kao i sva ostala glavna transportna sretstva. Nije zastarjelo, niti napušteno, nasuprot, tamo gdje već postoji brižno se njeguje i dotjeruje, a uz povoljne prilike uvodi se i tamo, gdje ga još nema.

2.) O vodotocima i o prilikama, koje pogoduju plavljenju.

Vodotok, koji će se upotrijebiti za plavljenje u prvom redu treba da dobro otvara šumu, da vodi bez prekida do mjesta, u kojima će se doplavljena roba lako i brzo rasprodati, dotično ot-

premati dalje. Neposredno moći će se upotrijebiti za plavljenje ovakav vodotok, ako je širina korita dovoljna, dubina vode povoljna, obala i dno čvrsto i pravilno, pad primjeren, smjer što više ispružen, bez oštrih krivulja. Korito treba da je za 50 do 60 cm. širje od najdužeg drva, koje će se otpremati,da se i takovo drvo, udarivši u kakovu zapreku, lako okrene u njem. U protivnom slučaju okretajući se lako pregradi takovo drvo korito u poprečnom smjeru, zaustavlja poslije nadošlo drvo, stvara se zamršen čvor, koji se mučno razmrsuje, gdjekad i uz pogibelj za zaposleno radništvo. Preširoko korito opet ne valja, jer drvo ne pliva u njem pravilno, zapinje i zaostaje na raznim zaprekama u većoj količini, treba ga nakon izvršenog glavnog plavljenja naknadno potražiti, oslobadjati od zapreka, sabirati, te ponovno otpuštati t.zv. naknadnim plavljenjem. Dubina naravnog vodotoka neka je tolika, da još napola potonulo drvo lako prelazi preko svake zapreke. Promočeno drvo pliva naime više stojećke nego ležećke, udara o dno, a lako potone uopće. Najpovoljnija dubina mjeri 60 do 100 cm.

Vodotok neka ne nosi sobom premnogo pruda ni obluća. Prud i oblućе lako prekrije i napola potonulo drvo .

Obala neka je dovoljno otporna proti udarcima. U protivnom slučaju ozlijedi ju lako drvo plivajući nepravilno, a voda ju razara još i dalje. Na taj način bivaju oštečeni obaloposjednici. Neka nije pregusto obrasla. U gustom grmlju zapelo i sakrito drvo mukom se otprema naknadno . Preplitka ili prestrma litičasta obala takodjer ne valja. Na plićinama ostaje ležati mnogo drva, a strme i litičaste obale nijesu pristupačne. Pravilno izdjelane obale u otpornom i povezanom tlu, primjereno visoke, a umjereno obrasle, najzgodnije su za plavljenje. Dno vodotoka neka je što pravilnije. Nad dubinama, jamama, redovno je smanjena brzina vode. Na takovim mjestima rado potone promočeno drvo. Na plićinama i prudištima opet zapinje drvo ; na većem obluću ili kamenju ozlijedi se pak lako. Krupnije ovakove nedostatke redovno nije teško otstraniti, pa dno izravnati. Jednoličan nagib / pad / je po-

željan, iako ga nema nijedan naravni vodotok. Zbog nejdnoličnosti nagiba na mjestima malenih brzina gomila se drvo, na brzicama nastaju pak utakmice, jedno drvo prelijeće drugo, a otud smetnje u prometu. Nalpovoljniji pad mjeri 0,5 do 1,5 % . Može biti i veći, ako je prilično jednoličan,t.j. ako ni na kojem mjestu ne odmiče mnogo od prosječne vrijednosti. Smjer vodotoka neka je što više ispružen, jer kroz oštre krivulje ili prebliže protukrivulje nemože proći oduže drvo,nego zapinje i zaustavlja promet. Kratkotrajnost,pa nestalnost vodostaja onemogućuje neposrednu upotrebu vodotoka za plavljenje. Povoljan vodostaj neka traje kroz što duži dio godine ili barem toliko dugo, koliko je potrebno za otpremu godišnjeg normalno posječenog i za otpremu pripremljenog etata.

Od prirode već više ili manje za neposredno plavljenje dotjerani vodotoci nalaze se redovno u gorskim, nenaseljenim krajevima. Zimske oborine staloše se i magaziniraju u gorama u obliku snijega. U proljeće, kad snijeg kopni, nastaju pak povoljni vodostaji za plavljenje. Najprije kopni snijeg u donjem dijelu vodotoka, a poslije u gornjem. Prema tome se odvija i transport najprije iz područja donjeg, a onda iz područja gornjeg vodotoka. Ovaći vodotoci i rijeke, koje izviru u visokim gorama, mogu biti podesne za plavljenje još daleko u ljeto na taj način.

Najpovoljnije prirodne prilike za plavljenje / i splavarenje / nalaze se u nordijskim državama : Švedskoj, Norveškoj i Finskoj, gdje se je ova vrsta transporta razvila do zamjernog opsega i savršenstva. U Švedskoj na pr. bogatstvo prirodnih vodotoka je toliko, a jednolična njihova razdioba po cijeloj zemlji takova, da svakoj šumi pripada po vodotok. Na kilometar vodotoka otpada 816 hektara od sveukupnog šumskog tla,a najudaljeniji kraj šume leži od svog vodotoka tek oko 4 km. daleko. Pri tom su ti vodotoci već od prirode u najvećem svom dijelu neposredno podesni bilo za plavljenje bilo za splavarenje, a ovom načinu transporta pogoduje i klima. Općenito teče smjer vodotoka od sjevero-zapada prema jugo-istoku. Od gora do mora. Drvena industrija nalazi se koncentrirana u pri-

morskim mjestima, u najvećoj česti,odakle se idealno otvara put švedskoj produkciji drva u cijeli svijet. U proljeće,čim okopni snijeg u primorskim krajevima, dopremaju vodotoci robu iz srednjeg kopnenog zaledja. Sa napretkom proljeća povoljni vodostaj prodire sve dublje u kopno, dok ne postigne svoj maksimum, kada se otprema roba i iz udaljenijih krajeva. Na ovaj način vrijeme povoljno za plavljenje i splavarenje traje razmjerno dugo, a kod većih vodotoka i rijeka, koje dopremaju robu iz najudaljenijih gorskih krajeva, produžuje se čak dugo i u ljeto. A i pripremnim radnjama za transport pogoduje klima. Zbog mnogih vodotoka niži šumski krajevi su često baroviti, močvarni, jednom rječju ljeti teško prohodni. Na smrznutom takovom tlu zimi nasuprot lako se izvrše sve potrebne predradnje tako, da u proljeće čeka sve gotovo i spremno na početak plavljenja. Ukupna dužina javnih vodotoka sposobnih za plavljenje i splavarenje iznosi u Švedskoj 31.325 km.,dok želježnička mreža mjeri tek 16.271 km., dakle samo polovicu.

No i svuda po Europi, gdje su hidrografske prilike povoljne, upotrebljava se ovaj način transporta / kod nas u većoj mjeri na rijeci Sani, po šumsko-industrijskom poduzeću " Šipad " / a naročito, pa u skladu sa modernim napretkom tehnike najsavršenije uređjeni uredjaji za plavljenje nalaze se u alpskim krajevima.

3. Dotjerivanje naravnih vodotoka u podesno stanje za plavljenje. Umjetni kanali.

Općenito,naravni vodotok rijetko je podesan za neposredno plavljenje na veće udaljenosti. Mjestimične zapreke : strmine, tjesnaci, brzice, plićine, prudišta,kamenje, premalen nagib, oštre krivulje i t.d. redovno prekidaju kontinuitet prometa. Nadalje rijetko je rasporedjena raspoloživa količina vode na jednoličan i povoljan vodostaj kroz potrebno vrijeme za plavljenje. Nagle promjene vremena, bujice, poplave, onemogućuju ili barem smetaju plavljenju nerijetko i u najpovoljnijoj godišnjoj dobi, u kra-

kotrajnom proljeću . Zbog toga u pravilu bit će potrebno izvesti radnje, pa podignuti naprave, koje će tek staviti vodotok u podesno stanje za plavljenje. Pogreške smjera, naročito oštre krivulje trebat će ublažiti izradbom novih korita,blaže krivosti, ili ukloniti ih posvema pomoću prekopa. Tjesnaci bit će proširen, a široke plićine sužene i produbljene na vještački način, s pomoću novo podignutih obala. Trebat će dakle mjestimično podizati uzdužne / paralelne / i poprečne gradnje, ugraditi slijepe brane,ispraviti, pa osigurati dno, utvrditi obale, jednom rječju izvesti radnje i naprave poznate iz Regulacije vodotoka, pa iz Uredjenja bujica. Vještački podignute ili utvrdjene obale takovih vodotoka svakako treba da nadvisuju vodostaj plavljenja,da drvo ne zaluta preko njih i ne ostane ležati na poloju. Slijepe brane, kojima je zadaća ublažiti pad, treba pak izvesti u niskim stepenicama / pragovima /, da drvo prelazi preko njih lako i bez ozlijeda .

Sve vještačke naprave treba izvoditi solidno iz otpornog materijala / drvo, kamen a u povoljnim prilikama tek fašine / , jer treba imati na umu, da se plavljenje izvršuje uz povišeni vodostaj / navala vode iz ustava / i da su sve te naprave izvrgnute i udarcima prometa / trupaca / .

Najviše nepravilnosti pokazuje najgornji dio vodotoka,gdje redovno nema ni dovoljno vode, zbog prevelikog nagiba. Tu će biti potrebno podizati ne samo sekundarne nego i glavne pregrade, a za olakšanje prijelaza prometa preko njih osnovati, pa izgraditi vodena dotično suha točila. Količina i dimenzije regulatornih radnja zavise naravno o prilikama i stanju vodotoka. Uz veći opseg takovih radnja, naročito kad se dira u smjer i pad vodotoka,sužuje, pa istodobno produbljuje korito ili uopće kad se podižu gradnje, koje utječu na daljnji tok i oblik vodotoka, potrebno je najprije, na temelju savjesnog proučenja svih prilika,izraditi regulatornu osnovu za cijeli vodotok i tek onda pristupiti k izvedenju. Bit će dapače gdekada i potrebno predvidjeti u toj osnovi ne samo radnje na samom vodotoku, nego i na njegovim pritocima, pa na mjestima izvan vodoto-

ka, koja ugrožavaju sigurnost plavljenja / opuzline, lavine, snježni usovi i t.d. /, naročito pak kad se radi o tome, da se smanji količina za plavljenje vrlo nepovoljnog oblućа,valuća, pruda i šljunka u vodotoku. Nije s time rečeno, da treba izvoditi sve predvidjene radnje odmah i istodobno . Nasuprot izvjesna prednost ovog načina transporta leži baš u tome, da se investicije investiraju povremeno,sukcesivno, oprezno i polako više dobro smišljeno nego silom, već prema potrebi. U pravilu bit će vodotok sposoban za plavljenje već nakon uklanjanja glavnih i ponajvećih sporadičkih zaprijeka. Tek nakon uspješnog uklonjenja ovih, pristupit će se daljnjim radnjama u narednim godinama prema osnovi, koristeći se svedjer jur stečenim iskustvom. Definitivna uravnoteženost vodotoka, za plavljenje najpodesnijeg oblika,u koliko je to potpuno uopće moguće, može se postići tek medjusobno svrsi shodno povezanim radnjama i napravama duž čitavog vodotoka. Zbog toga je stručno sastavljena regulatorna osnova potrebna, jer nestručno, nesuvislo i sporadično izvedene korekcije i utvrde ne mogu dovesti do željenog cilja; nasuprot bili su gdjekad od fatalnih posljedica za vodotok na drugom kojem mjestu.

Naravno korito vodotoka pridržat će se iz utilitarnih razloga u što dužim potezima kolikogod je moguće. Napustit će se ono na strmim ili za plavljenje nepodesnim potezima, pa obići takova mjesta sa vještački iskopanim ili izgradjenim kanalima, ako su ovi ekonomičniji i povoljniji od drugog kojeg još mogućeg riješenja. Ima dapače prilika, u kojima su naravna korita vodotoka napuštena uopće,a upotrebljena tek njihova voda za snabdjevanje vještački izgradjenih kanala, u svrhu plavljenja. To se je dogadjalo naročito onda, kad smjer vodotoka nije odgovarao smjeru transporta, kad su prilike kraja za drugo koje transportno sretstvo bile nepovoljnije, kad se je izradbom kanala mogao postići kontinuitet transporta od mjesta proizvodnje do mjesta potrošnje u zamjernoj dužini, kad snabdjevanje kanala sa potrebnom vodom nije zadavalo poteškoća, kad su i druge prilike kraja pogodovale ovom načinu transporta / povoljno, nepropusno tlo,

nenaseljenost, laka dobava potrebnog zemljišta, dobro otvaranja eksploatacionog područja, pak naročito priključak na drugi koji veći vodotok, dakle mogućnost otpreme robe na još veću udaljenost, na jednaki ili na sličan način / . Već u rano doba stvorena su velika takova djela. Tako na pr. izgradjen je godine 1788 i 1789 pa godine 1821 produžen na ukupnu dužinu od 51,3 km. Š v a r c e n b e r š k i kanal, koji omogućuje neprekinuti transport drva iz spomenute već Šumave, iz područja gornje Vltave, bogatog na šumama, u južnoj Češkoj, do riječice Grosser Mühl, koja utječe kod Neuhausa u Gornjoj Austriji u Dunav. Trasa kanala prolazi gorskim krajem, u nadmorskoj visini od cca 790 m., sa padom od 0,16 % . Korito kanala izvedeno je 1,90 m. široko u dnu , a 3,80 do 5,70 m. široko u vrhu, 0,95 m. duboko. Isprva služio je taj kanal samo za dopremu gorivog drva, za rudarsku industriju u Gornjoj Austriji. Prema tome bio je naravno i izgradjen t.j. za plavljenje tek kratkog drva. Sa porastom potražnje za korisnim drvom i u druge svrhe osjećali su se nedostatci trase sve više. Zbog toga je poslije preuredjen tako, da se danas njime otprema ne samo gorivo drvo nego i deblovina 19,5 m. dugačka. U tu svrhu korigiran je kanal, ublažene su sve oštrije krivulje na njemu, a priključene su k njemu još nove pokrajne doline sa svojim vodotocima. Na taj način nije samo sad bolje snabdjeven sa vodom, nego mu je i prošireno i eksploataciono područje. Da se postigne što veća trajnost i stalnost cijelog uredjaja spomenut[a]/točila iz pokrajnih dolina nijesu izvedena u drvu, nego u zemlji, u obliku kanala pravokutnog ili trapeznog oblika, obloženog u dnu i po stranama kamenim pločama, gdjegod je bilo moguće. U najnovije doba izgradjena je u onom kraju i željeznica, koja se je primakla i ovom kanalu razmjerno blizu i to ne slučajno. Videći svrsishodnost pa očiti uspjeh ovog načina transporta u onom kraju, namakla se misao sama po sebi, da se iskoristi ovaj kanal ne samo za otpremu drva prema Dunavu u Austriju, nego i u suprotnom smjeru prema središtu Češke. Zbog toga spojen je sada taj kanal još i sa stovarištem u Želnavi, stanici na novoj spo-

menutoj želježničkoj pruzi, s pomoću kamenog točila, izgradjenog na prije opisani način. S njime je postignut kontinuitet otpreme drva plavljenjem, od Šumave do Želnave u dužini od 25 km. Da se pak poveća kapacitet kanala, napušten je prijašnji primitivan način istovara rukom, pa mehaniziran. U tu svrhu podignuto je u Želnavi ogromno dizalo pogonjeno električnom snagom, koje diže iz kanala dnevno oca 800 m^3 deblovine i 600 do 650 prostorna metra gorivog drva. Švarcenberški kanal otvara danas i na taj način prašume Šumave u površini od 14.000 ha , sa sastojinama od njeko - 12,000.000 m^3 i to u smjeru prema Dunavu i u smjeru Vltave. Samo u Austriju otpremalo se oca 70.000 m^3 godišnje. Ta brojka ne predočuje dakle maksimalan kapacitet kanala. Iako je ovaj kanal primjer pravilnog riješenja transporta u pravo vrijeme, od dalekosežne opće ekonomske vrijednosti,ipak nije ni on prost od pogrešaka, koje su izbile na površinu kasnije, nakon izvedenja. Tako na pr. ni sama trasa ne odgovara savršeno današnjim potrebama i principima transporta. Položena je previsoko tako, da treba dopremati robu sa nižih strana odozdo prema gore. Istovarni kanal pak u Želnavi leži prenisko, niže od želježničke pruge, pa treba opet pretovarivati robu s pomoću dizala odozdo prema gore. Posljednja pogreška ipak ima i svoje dobre strane. Da se donjekle olakša utovar u želježničke vagone, slaže se drvo u vrlo visoke složajeve i s time dobiva na prostoru. Unakrst pak složeno drvo u ovakovim složajevima brzo se suši, jer zrak ima pristupa u velikim površinama sa sviju strana.Budući su pak ove manje izložene suncu, drvo ne trpi toliko na kvaliteti od nepravilnog utezanja, prštanja i vitlanja. Konačno treba još spomenuti u vezi sa ovim kanalom : iako se njime otprema 19,5 m. dugačko drvo, širina mu mjeri tek 4 do 5 m. u razini vode. To dolazi otuda, što širina kanala može uopće da bude mnogo manja od širine naravnog vodotoka. Vještački izradjeni kanal dobro vodi drvo zbog jednoličnosti pada i pravilnosti korita, poput točila. Drvo ne zapinje u njemu, ne nastoji se zakretati, nego pliva jednolično i pravilno sa umjereno odmjerenom brzinom vode u kanalu.

Osim već spomenutih, pa prije već poznatih regulatornih radnja i u druge svrhe, za potpuno dotjerivanje naravnih vodotoka u spremno stanje za plavljenje potrebno je izvadjati još i specijalne naprave i uredjaje, o kojima govorimo podrobnije u idućim tačkama.

4. U s t a v e. Nije li rasporedjena inače dovoljna količina vode vodotoka na jednoličan i povoljan vodostaj kroz potrebno vrijeme za plavljenje, podižu se ustave. To su pregrade, kojima je svrha zaustavljati, sakupljati i magazinirati vodu u dovoljno prostranom prostoru povrh njih prije plavljenja, a za vrijeme plavljenja propuštati tu vodu i podržavati dovoljno visok vodostaj u koritu vodotoka, kanala ili točila ispod njih. Osim toga omogućuju pravilno upuštanje drva u odmjerenim količinama u korita ispod njih. Na zgodnom mjestu postavljena i valjano izgradjena ustava ne poboljšava samo stanje vodotoka već od prirode donjekle podesnih za plavljenje, nego omogućuje plavljenje i na vodotocima za plavljenje po prirodi uopće nepodesnih. Na taj način mogu se urediti za plavljenje sa dovoljno vode i tek periodički snabdjeveni vodotoci, pa vodotoci neznatnog vodostaja, zbog prevelikog nagiba ili zbog premnogog kamenja i obluća u koritu. No podižu se takove ustave gdjekad i na pritocima lih sa svrhom, da se poboljša vodostaj glavnog vodotoka, u kome se izvršuje plavljenje.

Prema svrsi odabire se i mjesto. Ustava treba da snabdjeva vodotok sa vodom na što dužem potezu. Zbog toga je i redovno smještena u gornjem ili najgornjem dijelu vodotoka, negdje na početku doline. Efekat ustave treba da je što veći ili barem tolik, kolik je za plavljenje potreban. Zbog toga se stavlja ustava na mjesta, koja obiluju sa vodom, na sastavcima više dolina, više vodenih žila ili pritoka. Takova mjesta imaju i tu prednost, da se voda brzo sabire na njima, a spremište iza ustave brzo ispuni sa vodom. Mjesto iza ustave, odredjeno za magaziniranje vode, spremište, neka je u-

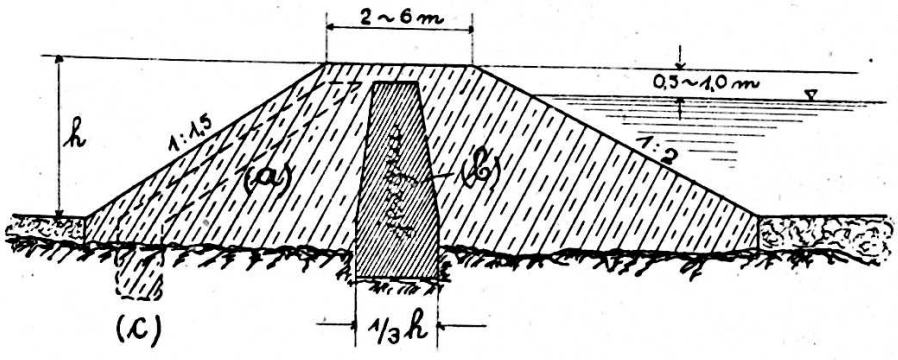
mjerenog pada, prostrano, da se postigne predvidljivo potrebna količina usporene vode, potrebne za plavljenje. Vrlo je važno da je tlo na izabranom mjestu i sa gradjevnog gledišta povoljno. Neka ne sastoji iz vodopropusnih slojeva. Već i kod manje propusnog tla troškovi oko zguščivanja tla, pa zagušenja pukotina i pukotinica mogu biti znatni. Gradilište za samu ustavu treba odabrati na najužem mjestu doline, čvrstog dna i jedrih obala, da se postigne prosiguran i nepropustan temelj, pa valjan priključak na obale. Prolaz vodotoka kroz uzak profil doline u litici, koja se proširuje uz vodu, najzgodnije je gradilište za ustavu i najpodesnije je mjesto za spremište. Dok na gradilištu za samu ustavu, nepropusno i dovoljno čvrsto tlo svakako treba da leži dosežno duboko,- mjesto i tlo , odredjeno za spremište vode, može se često vještačkim zamuljenjem dotjerati i onda, kad od prirode nije baš posve nepropusno. U tu svrhu stavlja se donji rub ispusta, koji služi za potpuno ispražnjenje spremišta, iznad naravnog tla toliko visoko, koliko će iznositi visina taloga potrebnog, da se postigne željena nepropusnost.

Ustava pripada vrsti pokretljivih pregrada / brana /. Prilagodjena je tek potrebama plavljenja. Tijelo ustave providjeno je u tu svrhu sa ispustima, više njih na broju, koji se otvaraju ili zatvaraju s pomoću zgodno udešenog mehanizma, točno po potrebi. U glavnom su ovi : ispust u dnu za potpuno ispražnjenje vodospremišta; iznad ovog ispust za drvo, pa za podržavanje vodostaja u vodotoku ispod ustave i konačno prelijev u visini osnovanog vodostaja vodospremišta. Kod većih visina redovno se otprema drvo iz vodospremišta s pomoću vodenog točila preko ustave u vodotok ispod nje. U tom slučaju potreban je još ispust , redovno u gornjem dijelu ustave, na koji je priključeno ovo točilo . U najnovije doba iskorišćuje se sakupljena voda iza ustave još i za proizvodnju električne struje, s pomoću koje se preobrazuje šumsko drvo u vrijednije oblike, na zgodnom mjestu. U takvom slučaju ima ustava još jedan ispust, na koji je priključen vodovod za električnu centralu,

ili je taj kombiniran već sa spomenutim točilom. Gdjekoji od na brojenih ispusta izvedeni su gdjekad u većem broju, u istu svrhu. Broj, veličina, konstrukcija i mehanizam ispusta zavisi naravno o kapaciteti i dotjeranosti čitavog uredjaja, pak i o dobi izvedenja. Kod manjih ili starijih uredjaja ispusti su malobrojni i jednostavni.

Tijelo ustave, njezin nepokretljiv dio, izradjuje se poput masivnih pregrada iz zemlje, od drva, kamena, betona i željeza, a često i kombinirano iz dva ili više od spomenutih gradjevnih materijala.

Tijelo, izgradjeno iz čiste zemlje, izvadja se općenito rijetko, jer rijetko stoji na raspoloženju u dovoljnoj mjeri u tu svrhu potreban i dovoljno nepropustan materijal / glina ili ilovača /. Gradi se u obliku nasipa širokog u vrhu najmanje 1,0 m. ,rijetko više od 4 do 5 m. / približno širina krune jednaka je visini nasipa unutar označenih granica, ako ne mora biti širja drugog kojeg razloga radi; na pr. prometa radi / . Pokos nasipa uz gornju vodu izvodi se u nagibu 1 : 1,5 do 1 : 2 ,a uz donju vodu u nagibu u 1 : 1 ili 1 : 1,5 / zavisi o materijalu i o visini nasipa / .

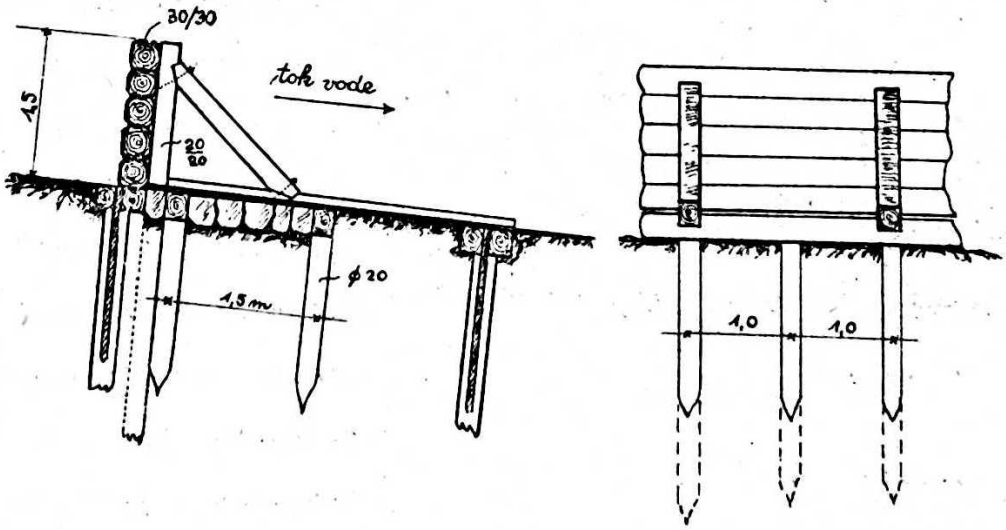


Slika : 1.

Humozno ili propusno tlo na gradilištu treba otstraniti sve do nepropusnog sloja ispod cijele baze nasipa i njegovih priključnih ploha na obale doline. Samo od zemlje gradi se takav nasip, ako je dovoljno nepropusna. U protivnom slučaju nepropusnost postizava se na vještački način, da se zemlji dodaje mljeko od vapna, da se obloži pokos na uzvodnoj strani naročitim slojem izabranog nepropusnog ilovastog / glinenog/ materijala,cca 100 cm. jakog / Slika 1a. / . Postupa se i

tako, da se izgradi jezgra nasipa od takovog nepropusnog materijala, koja ulazi u nepropustan sloj u temeljima. Jezgra je u vrhu najmanje 1,0 m. široka, a širina u dnu jednaka je p.p. trećini visine nasipa / sl. 1,b / .Pokos jezgre izvodi se u nagibu 1 : 12 do 1 : 24 . U svakom slučaju dobro je osigurati podnožje nasipa na uzvodnoj strani zidom od nepropusnog materijala / sl. 1,c / , koji spriječava prodiranje vode kroz plohu doticanja nasipa i tla. Kruna nasipa treba da leži 0,5 do 1,0 m. visoko iznad najvišeg vodostaja u vodospremištu. Nasip se izvodi zajedno sa jezgrom u niskim 10 do 30 cm. jakim slojevima, pa dobro nabija.Pokos uz spremište dobro je taracati kamenom, da se zaštiti od valova. Na suprotnoj strani dovoljno je pokos pobusiti. Ovakovi nasipi najzgodniji su kao sekundarne ustave u pokrajnim dolinama, kojima je zadaća snabdjevati vodom glavni vodotok, u kom se izvršuje plavljenje. U tom slučaju providjeni su samo sa ispustom za vodu u dnu, pa sa prelijevom. Svrsi shodno treba smjestiti prelijev na zgodnom mjestu izvan nasipa.

Jednostavnu, samo iz drva izgradjenu ustavu predočuje slika 2. Stijena ustave izradjena je od 30 do 40 cm. jakih balvana,



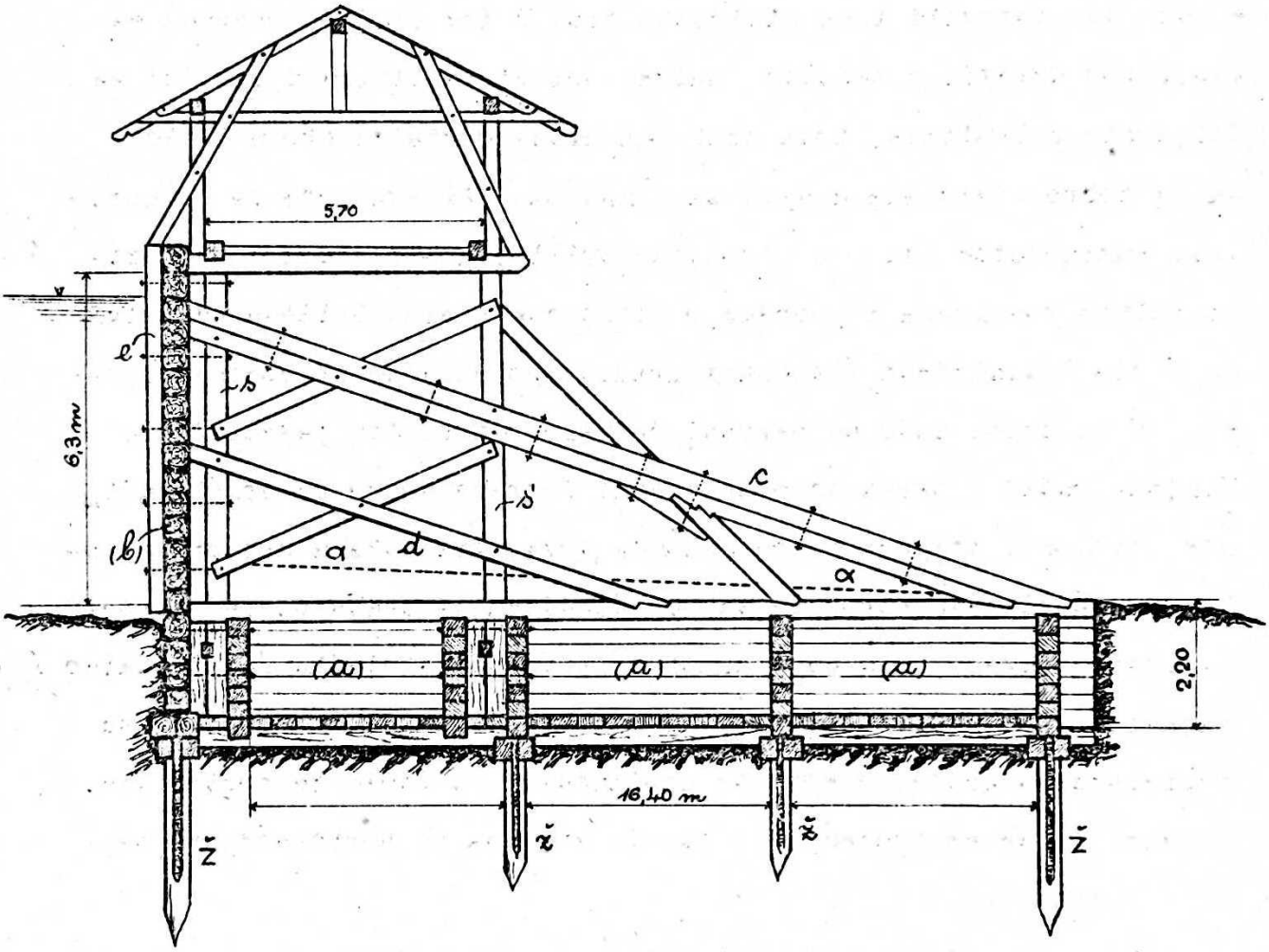
Slika : 2.

a poduprta sa sistemom stupova i kosnica . Stijena počiva na žmurju, koje spriječava takodjer prodiranje vode, te zajedno sa donjim

žmurjem omedjašuje podslapište. Ovo je u gornjem dijelu taracano kamenom, a na čitavu dužinu prekrito sa 5 do 10 cm. jakim platicama. Tarac može se izvesti i od betona. Unutar žmurja osiguran je tarac pilotima, zabitima u razmacima 1,5 do 2 m. i spojeni medjusobno sa glavnjicama. Ovakova ustava gradi se do 3,0 m. visoka, a može se postaviti i na litičasto tlo. U tom slučaju poravna se tlo ispod ustave, a temeljni balvan položi na liticu i učvrsti sa željeznim svornicama, koje treba da ulaze dosta duboko u liticu, da su dobro učvršćene u njoj sa cementom. Stijena može se poduprijeti kamenometom ili - u povoljnim prilikama - podbočiti sa horizontalnim kosnicama i uporama o litičastu obalu. Stijenu od balvana / die Krainerwand / treba izgraditi po mogućnosti vodonepropusno. U tu svrhu tešu se balvani četverobridno, što jednoličnije. Vanjske reške / prema usporenoj vodi / treba dobro šuperiti kući_ nom, smolom i trijeskama od mekanog drva. Trijeske u utjeranom položaju podržavaju naročite skobe. Zagušivanje treba povremeno obnavljati.Balvani mogu se slagati u stijenu i stoječke / vertikalno /. Naravno konstrukcija ustave se onda nješto mijenja / potrebne su horizontalne grede, o koje se naslanjaju / . Stoječke postavljeni balvani lakše se izmjenjuju, dok je stijena od horizontalnih balvana čvršća .

Ovakovu ustavu većih dimenzija / visina preko 3 m. / predoču - je slika 3 . Glavna stijena ustave (b) počiva na sistemu komora, izradjenih od jakih greda, pa ispunjenih kamenom /(a), Steinkasten /, te je poduprta o te komore sa sistemom vertikalnih stupova, podupo - ra i kosnica. Stupovi s sižu sve do dna komore, gdje ih obuhvataju dvije drvene stijene, s kojima ih vežu naskroz provučene svornice. Glavne podupore c i d , s pomoću kojih se stijena balvana odupire pritisku vode, ukrućene su još sa sporednim kosnicama.Balvani u glavnoj stijeni prema dnu sve su jači, u gornjem dijelu 40/35 cm., u srednjem 40/40 a u najdonjem 40/45 cm. - - - - - - - prosjeka. Ta stijena prislanja se neposredno na stupove s , a obložena je još i sa vanjske strane sa stupovima e . Stijenu sa stupovima vežu u krutu cjelinu svornice, koje prolaza naskroz. Reške

glavne stijene šuperene su na poznat način. Svaka važnija greda izdjelana je sa gornje strane u obliku krova, te prekrita šimlom , / šindrom / ,a nad cijelom ustavom prolazi natkriti poslužni most.



Slika : 3.

Glavni vezovi ustave, kako su skicirani na slici 3., stoje u razmacima od 3 metra, te su i u uzdužnom smjeru ustave ukrućeni horizontalnim križevima izmedju stupova b i b'. Dno prelijeva nalazi se u visini usporene vode a prelijevna voda odilazi u korito vodotoka ispod ustave kroz drveni kanal,pravokutnog oblika, položen od prelijeva do dna korita r.p.u smjeru glavne podupore c. Voda za plavljenje otpušta se pak kroz ispust, kojega dno leži nješto iznad dna vodospremišta, te prolazi preko ustave, opet kroz drveni kanal, pravokutnog oblika, kojega dno obilježuje na sl.3. crtkana

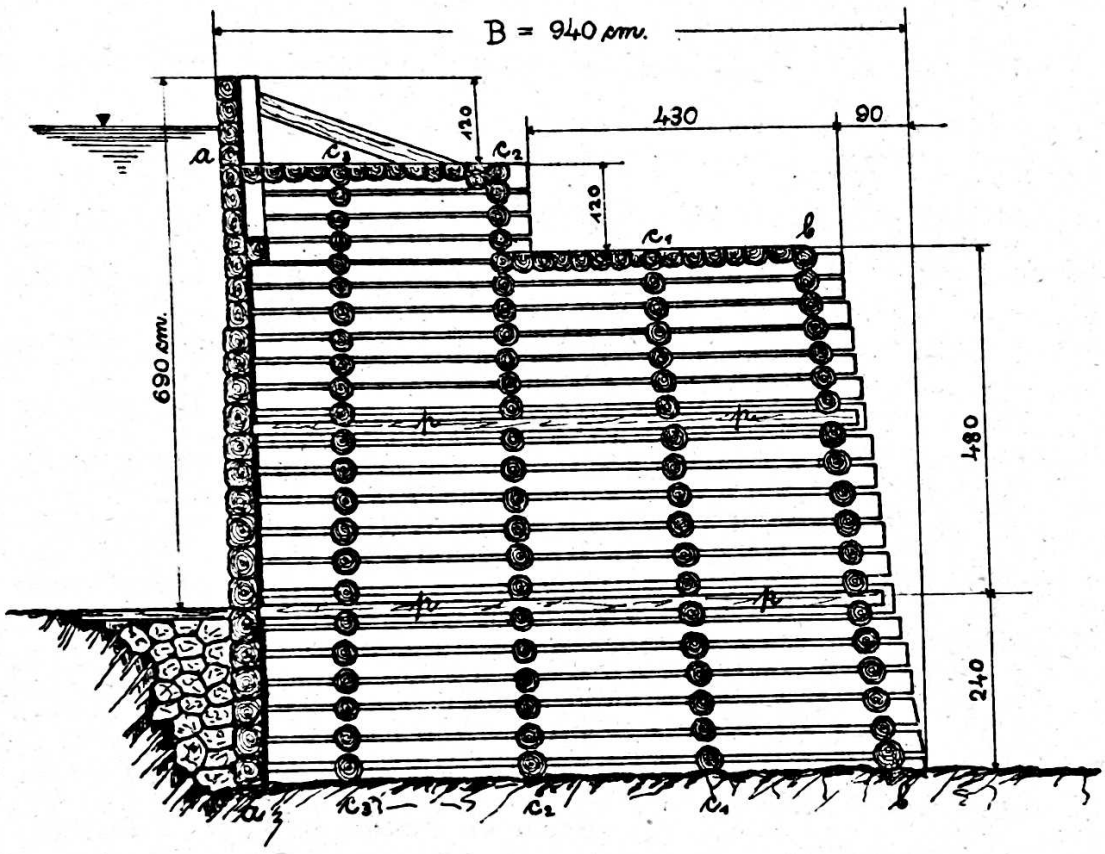
linija $\alpha - \alpha$. Jedna i druga voda ne ugrožava na taj način ustavu, jer ulazi u donji vodotok iza njezinog svršetka. Dobra je strana ovako konstruirane ustave, što je svaki njezin dio pristupačan, te se lako izmjeni po potrebi. Upotrijebiti se ali može tek u uskim dolinama tako, da ne ispane predugačka / ispod 50 m. / .

Vrlo često izradjuje se nepokretljiv dio ustave u obliku drvenih komora ispunjenih kamenom ili zemljom. Tijelo ustave sastoji u takovom slučaju od sistema škrinja sa uzdužnim i poprečnim stijenama, koje se sijeku pod pravim kutem, a izradjene su od neotesanih ili četverobridno otesanih oblica, sad slabijih sad jačih, već prema položaju i pritisku, koga treba da podnesu. Stranica komore mjeri 1,5 do 3,0 m. Glavni dijelovi takove ustave su ovi : temelj, glavna stijena na uzvodnoj strani, stijena na nizvodnoj strani, s ovima paralelne medjustijene, poprečne stijene, podovi , pa ispusti.

Ako je tlo litičasto treba ga pomogućnosti što bolje izravnati, izraditi možda i u prostrane stepenice , ako se na taj način smanjuju troškovi. Jednako valja izravnati obale u što pravilniji oblik, pa izraditi u njima udubine, u koje će tijelo ustave dobro pristajati. Pukotine i pukotinice u tlu treba zagušiti cementom / betonom / . Da se pak postigne što bolji priključak izmedju tla i tijela ustave izradjuje se ovo najprije na obali, tačno u obliku snimljenog gradilišta, a tek poslije polaže i montira na gradilištu kod malenog vodostaja na ovaj način bolje, lakše i brže. Najdonji red balvana treba usidriti u liticu s pomoću 25 do 40 cm. jakih svornica. Svornice, često na donjem kraju rašljate, leže u izvrčenim rupama u litici, dovoljno duboko. Rupe se pak zagušuju betonom ili olovom. Na ovaj način postupa se i onda, kad debljina propusnog sloja nad liticom nije velika. Tijelo ustave prodire kroztakav sloj sve do litice. Leži li dobro gradjevno i dovoljno nepropusno tlo duboko, gradi se najprije roštilj. Kako se razabire iz slike 3. , takav roštilj sastoji redovno od glavnog i jačeg žmurja $\check{Z}$ na uzvodnoj i nizvodnoj strani, pa od paralelnog slabijeg, sekundarnog žmur-

ja ž medju ovima u razmaku stijena komora. Namjesto sekundarnog žmurja mogu poslužiti i samo piloti u povoljnim prilikama. Svi su piloti povezani medjusobno sa poprečnim i uzdužnim glavnjicama / namjesto posljednjih služe kliješta žmurja / . Na tako dogotovljeni roštilj polaže se onda gornji stroj ustave. Taj sastoji od glavne stijene na uzvodnoj strani / Krainerwand /, koju smo već opisali. Stijena na nizvodnoj strani gradi se od dvostrano tek otesanih balvana do 42 cm. jakih, a paralelne medjustijene izradjuju se iz nješto slabijih oblica. Uzdužne ove stijene spajaju poprečne stijene, izradjene iz 15 do 24 cm. jakih oblica. Komore se pune kamenjem, da se postigne dovoljan stabilitet ustave. Zbog toga je svaka komora providjena sa podom, koji prenosi djelovanje kamenja i na stijene. Takav pod izradjuje se od 10 do 15 cm. jakih oblica, a dijeli cijelo tijelo ustave u spratove, visoke, kolika je p.p. dužina stranice komore / prosječno 2,0 m. / . Pune se pak komore kamenjem, oblućem, šljunkom i glinom / ilovačom /. Nepropusnu glinu ili ilovaču dobro je nabiti, ako je ima, cca 50 cm. široko u prvim komorama uz glavnu stijenu, a tek preostali prostor u njima zatrpati kamenim materijalom. Ovako se postizava veća nepropusnost, a šuperenje rešaka glavne stijene ne treba obnavljati tako često. Glina se nabija u vlažnom stanju, u slojevima ne višim od 10 do 15 cm. Postupa se i tako, da se na ovaj način ispune sve komore u temeljima, pa i sve ostale izim onih neposredno uz glavnu stijenu. Na taj način je ta stijena pristupačnija kod naknadnih radnja i popravaka. U uskim dolinama / kratka ustava / u litičastom profilu, neispunjavaju komore uopće / izim onih u temeljima / , a stražnju stijenu podbočuju sa koso položenim uporama o litičastu obalu u više redova, u visini podova . Na vrhu ustave kamenomet valja obložiti solidno izvedenim taracom. Na slici 4. predočena je skica masivnog / nepokretljivog / dijela ustave od drvenih komora. Glavna stijena $a-a$, uz vodospremište, redovno se postavlja vertikalno. Stražnja stijena $b-b$, pa s ovom paralelne stijene $c-c$, mogu biti slabo nagnute, no općenito ne odmiču mnogo od vertikale.

Glavne dimenzije ustave zavise o visini usporene vode. Širina ustave (B) rijetko je manja od najveće visinske razlike izmedju gornje i donje vode. Obično je jednaka ili još nješto veća od te razlike. Da se uštedi na materijalu, izvodi se gornji dio tijela u obliku stepenica. Na taj način suzuje se širina, barem u najgornjem dijelu. Na slici 4. najgornji dio brane osim toga dapače je tek prosta stijena od balvana. Konstrukcija predočena na slici 3. zapravo



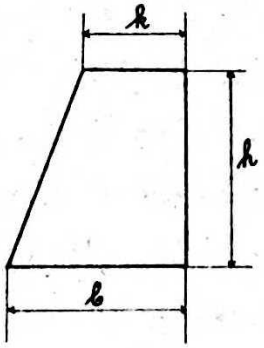
Slika : 4.

je takodjer kombinacija ustave izvedene od drvene stijene / Krainerwand / i komora. Pretežni dio konstrukcije, cijeli gornji stroj svakako je stijena od balvana (b) , a tek donji stroj, temelj čitave konstrukcije, sačinjavaju drvene komore ispunjene kamenjem. U tijelu ustave, slika 4., su pak te komore / odijeljene podovima p / glavni elemenat. Na istoj slici kamenomet nije označen, da se bolje vidi konstrukcija samih komora, a presjek je uzet kroz posve masivan dio ustave, koja počiva na litici. S pomoću komora gradi se ustava vrlo uspješno u brzicama, jer i razmjerno jaka struja malo smeta izvedenju. Tako izgradjene ustave vrlo su otporne, te lako podnose veliku

uspornu visinu. Brzo se grade, a nijesu ni skuplje od ustava, izgradjenih na drugi koji način. U tom pogledu naročito im pogoduje gorski kraj, u kome ima dovoljno drva, a redovno i dovoljno kamenja. Dulje se drže, ako su komore, u koliko nijesu stalno pod vodom, potpuno ispunjene kamenom, pa zagušene šljunkom i pijeskom. Zbog te ispune, koja se stavlja najzad u komore, ustava sijeda duže vrijeme. Poradi toga ne valja ju kruto povezati sa obalama ili sa zidovima kod kombinirane gradnje. Vodu iz ustave treba voditi na vještački način i upustiti u donje korito dovoljno daleko od podnožja ustave,da ne nastaju pogibeljna podlokanja u podslapištu. Slaba im je strana : ne traju dugo .

Zidane ustave od kamena ili betona su najtrajnije. Grade se u pravilu na jedrom litičastom tlu, dakle u kraju,u kome se nalazi i potreban gradjevni materijal jeftino pri ruci. Na drugom, inače dobrom gradjevnom tlu, bit će potrebno naročito osigurati temelj, da se postigne jednolično slijegavanje i valjana nepropusnost tla / roštilj od pilota, žmurja i t.d. /. U svrhu plavljenja podignute ovakove ustave rijetko su preko 10 metara visoke. U profilu pokazuju redovno jednostavan oblik : pravokutnika ili trapeza. U vrhu su 3 do 5 m. široke, a stijena uz gornju vodu redovno je vertikalna. Uz takove prilike širina baze b , koja leži h meteri ispod krune k, može se dovoljno tačno procijeniti, ako γ označuje težinu kubnog metra zidja u tonama,po jednadžbi :

$$b = \frac{h}{\sqrt{\gamma}} .$$



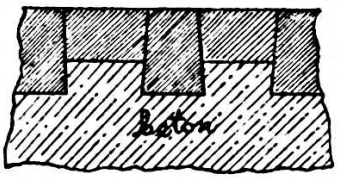
Slika : 5.

Širina krune neka je $k \geqq \frac{b}{2}$.

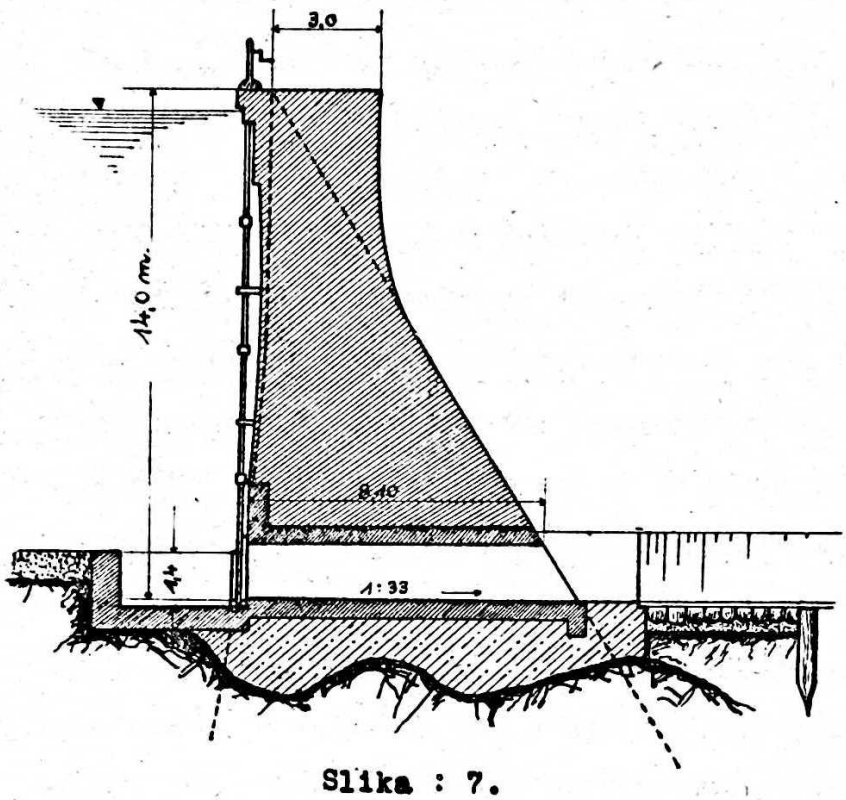
Na pr. za h = 10 m., γ = 2,3 t/m^3 je b = 6,6 m., a $k \geqq$ 3,3 m.

Kod većih visina potrebno je ispitati stabilitet zida, jednom uz prazno, a drugi puta uz napunjeno vodospremište. Tlačna linija u oba slučaja treba da prolazi jezgrom prosjeka. U oba slučaja : rubna naprezanja ne smiju nadmašiti dozvoljenu granicu ni u kojem prosjeku zida,ni u temeljima ni na tlu .

Jednako treba da je zid dovoljno osiguran proti smicanju kao u pojedinim reškama tako i u dnu,na tlu. Stijena kratke ustave uz vodospremište pokazuje redovno pravac u situaciji / tlocrtu /, a uz donju vodu luk kružnice, blage krivosti. Dugačke ustave grade se pak običnije sa jednom i drugom stijenom u luku kružnice, konveksnom prema gornjoj vodi, polumjera jednakog p.p. dužini krune ili nješto većeg / < 100 m/. Upotrijebiti se može samo jedar, protiv djelovanju atmosferilija / smrzavice / dovoljno otporan kamen lomljenak. Zid treba da je po mogućnosti nepropustan. Zbog toga kamen se slaže tako, da ni horizontalne ni vertikalne reške ne prolaze naskroz. Na grubo obradjeni kamen u kamenolomu ugradjuje se u obliku t.zv. ciklopskog zida. Zbog toga oblaže se vanjska površina s jedne i s druge strane sa pravilno tesanim kamenom 60 do 100 cm. duboko. Zbog toga potrebno je upotrijebiti / barem na uzvodnoj strani / vodonepropustan mort / hidraulički mort, t.j. mort koji otvrne pod djelovanjem vode /. Starije ustave izgradjene su u kamenu naskroz. U novije doba beton potiskuje kamen. No i beton oblaže se kamenom tesancem, jer ovaj bolje odoljeva mehaničkim udarcima valova i prometa. Da se postigne dobra veza izmedju kamenog obloga i betonske jezgre, tesanac je ukliještен u beton / slika 6. /. Izvjesna ušteda može se postići,ako se u betonsku jezgru ugradjuje kamen lomljenak u iznosu od oca 15 % . Na mjestima, na kojima beton nije obložen kamenom, a izvrgnut je vodi / ispusti / valja ga proviđiti 2,5 do 3 cm. jakom naročitom vodonepropusnom žbukom / 1 dio cementa, 1 dio vapna 3 dijela finog pijeska; osim toga oblaže se zid ispod žbuke naročitim izolirajućim mazom siderastena, gudrona ili slično / . Slika 7. predočuje poprečan presjek veće takove masivne betonske ustave kroz propust za ispražnjenje vodospremišta. Ustava počiva na litici, a ispust je nješto izdignut iznad dna, da se postigne bo-



Slika : 6.



Slika : 7.

lja nepropusnost vodospremišta zamuljivanjem. Često izvadjaju se kombinacije od dosad opisanih konstrukcija. Tako se na pr. kombinira zidano tijelo sa zemljanim. Jezgra nasipa izvodi se od betona u vrhu barem 0,75 m. jaka, a u dnu 1/6 do 1/7 visine usporene vode široka. Uzvodna strana jezgre treba da je obložena nepropusnom žbukom. Uopće zidane ustave oblažu se gdjekad nasipom na uzvodnoj i na nizvodnoj strani. Nasip na uzvodnoj strani siže najviše do polovice najveće visine zida. Svrha mu je povećati nepropusnost dna u vodospremištu uz sam zid, smanjiti pritisak vode na zid i zaštititi nepropustan oblog na zidu. Nasip na nizvodnoj strani podržaje zid u jednoličnoj temperaturi, smanjuje stvaranje pukotinica u njemu. Gdjekad služi zid samo kao oblog zemljanog nasipa na uzvodnoj strani. Drvo i zemlja kombiniraju se takodjer. Kao jezgra zemljanom nasipu služi žmurje / od drva ili dapače i od željeza u Americi / . Najčešće se kombinira u novije vrijeme drvo i zid. Obalni dio / upornjaci / pa srednji dijelovi / pilovi / nepokretnog dijela ustave izvode se od zidja / redovno betona /. Medju ovima nalaze se pak pokretljivi dijelovi ustave, položeni na temelj, redovno gradju od drvenih, kamenom ispunjenih komora.

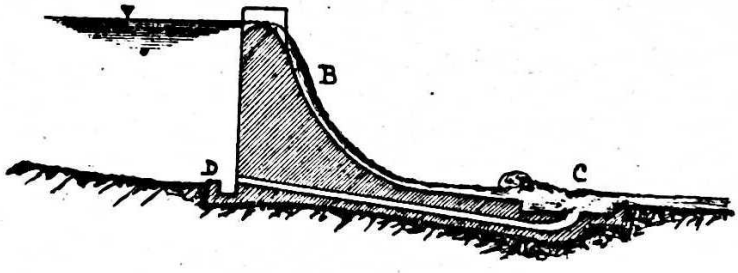
Nijedna ustava i najsolidnije izradjena nije savršeno vodonepropusna. Zbog toga dobro je već i zemljane nasipe drenirati na nizvodnoj strani. Paralelno sa glavnom osovinom ugradjuju se u tu

svrhu u nasip drenske cijevi 5 cm. promjera ili kamenom ispunjene procjednice u više sprata. Sabrana voda u tim cijevima odvodi se u poprečnom smjeru kroz nasip napolje,na zgodnim mjestima s pomoću odvodnih cijevi cca 10 cm. promjera. Na sličan način dreniraju se zidane ustave. Cijevi sisalice, 5 cm. promjera, teku od vrha prema dnu zida; 1,5 m. daleko položene od uzvodne površine, a ulaze u gotovo horizontalne zbirne cijevi 10 cm.promjera, koje se nalaze u dnu zida, te svršavaju redovno u ispusnim kanalima. Sisalice polažu se u razmacima od 2 do 2,5 m. Drvene ustave treba takodjer drenirati. Iza glavne stijene / Krainerwand /, unutar ustave u dnu, izradi se paralelno s njom kanalić, koji pada prema najdubljem mjestu. Odatle se odvodi sakupljena voda odvodnim kanalićem, koji prolazi ispod ustave u podslapište dovoljno daleko, tako, da voda iz podslapišta ne može natrag prodirati kroz njega u unutrašnjost ustave.

Usporena voda u vodospremištu smije da dosegne tek unaprijed odredjenu najveću visinu / visina uspora /, koja još ne ugrožava stabilitet ustave, a u skladu je sa potrebama čitavog uredjenja u svrhu plavljenja. Daljnje dizanje usporene vode spriječavaju p r e l i j e v i t.j. otvori na vrhu ustave, kroz koje prolazi suvišna voda u donji vodotok. Na takav otvor, redovno stalno otvoren, priključen je obično još i prelijevni kanal, koji prenosi prelijevnu vodu u donji vodotok sa što manje štete za samu ustavu. Svaki prelijevni kanal treba da je izveden vodonepropusno, da voda ne prodire kroz njega u tijelo ustave. Kod zemljanih i zidanih ustava takav kanal izgradjen je od tesanog kamena ili betona redovno na jednom ili na obim krajevima ustave. Kod drvenih ustava izradjen je pak od trostrano otesanih oblica. Kod manjih vodotoka i ustava produžuje se taj kanal preko podslapišta / na jarmovima poput točila / dozvoljeno daleko tako, da voda padajući iz njega ne ugrožava ustavu. Kod većih vodotoka / veće obilje prelijevne vode / i kod viših ustava izradjuje se prelijevni kanal u obliku kaskada, vrlo često na donjem stroju izgradjenom od drvenih komora, pa ispunjenih kamenjem.

Preko zidanih ustava može se voda prelijevati i neposredno. Nizvodna stijena treba ali da je savita u luku krivulje u tom slučaju, da se olakša prelijev; podslapište treba da je taracano jedrim kamenom u jakoj betonskoj podlozi, a treba da je još i providjeno sa t.zv. vodenim jastukom / udubina C sl.3. / na kojem se ublažuje sudar prelijevne vode sa donjom vodom. Te su mjere sigurnosti protiv podlokanja potrebne i onda,kad ustava zajedno sa podslapištem počiva na litičastom tlu. U svakom slučaju prelijevni otvor treba da je toliko širok,da nalazi u njemu dovoljno mjesta i najveća poplavna voda.

Otvor i kanal, kojim prolazi voda spremljena za plavljenje leži kod nižih ustava blizu dna, kod viših povrh dna vodospremišta. Stijene kanala u tijelu ustave treba da su izradjene vodonepropusno. U gradji od drvenih komora izradjene su od nepropusne drvene oplate, koja se naslanja na stijene komora. Na strop komore prislanja se redovno gornja stijena kanala. I taj kanal dobro je produžiti izvan ustave dovoljno daleko u podslapište, da se smanji razorno djelovanje vode u neposrednoj blizini ustave. U zidanoj ustavi takav kanal, ako mu otvor leži iznad dna vodospremišta, dobro je prevesti u podslapište u liniji ležečeg slova S .



Slika : 8.

Ispust u dnu, za ispražnjenje vodospremišta,potreban je,ako ispust za vodu u svrhu plavljenja leži iznad dna. Od vremena do vremena svakako treba potpuno isprazniti vodospremište, da se mogu izvršiti popravci na ustavi,na njezinim dijelovima i napravama a i čišćenje samog vodospremišta. Osim toga taj ispust služi gdjekad za propust normalne vode vodotoka u doba, kad ustava ne radi a i otpušta se kroz njega voda, u vrijeme visokih vodostaja, da se oteretí prelijev.Prema tome je naravno i dimenzioniran. S tim ispustom spojeni kanal prolazi ispod ustave u pod-

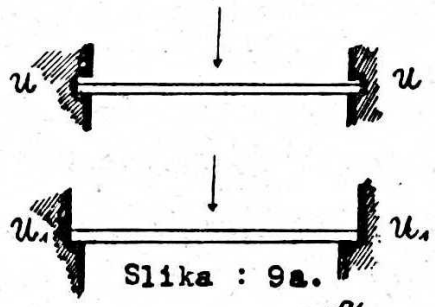
slapište, a izgradjen je vodonepropusno i tako, da je sudar propuštene vode sa donjom vodom po mogućnosti blag / isporedi na pr. kanal D–C slika 8. / . Taj se ispust tek otvara, kad se je vodospremište ispraznilo do donjeg ruba ispusta za plavljenje. Zbog toga se s njime spojeni kanal rijetko produžuje daleko u podslapište.

Pokretljivi dijelovi ustave prouzrokuju zapravo usporenje vode u vodospremištu, a služe naravno i za pravilno otpuštanje usporene vode po potrebi. Već prema prilikama mogu iznositi manji ili veći dio čitave ustave, daju joj dapače i ime, već prema svojoj konstrukciji. Gdjekad je masivan dio ustave, naročito gornji stroj, / izvan temelja /tek u najnužnijim izmjerama izgradjeni okvir, na koji se naslanja i upire u pretežnom dijelu izveden pokretljiv dio ustave. Vodotoci, bujičnog karaktera, naglih ili vanredno visokih vodostaja naročito traže pokretljive dijelove, koji brzo i u dovoljnoj mjeri otvaraju put poplavnoj vodi. S druge strane ima opet prilika, u kojima ti pokretljivi dijelovi tek zatvaraju i otvaraju malobrojne ispuste, koji po svojim dimenzijama mnogo zaostaju za masivnim dijelom ustave. Razumljivo je onda, da su i konstrukcije pokretljivih dijelova različite, da je nihov broj narasao, naročito u novije doba, u kojem se je nastojalo a nastoji još i uvijek, da se što bolje dotjeraju i konstrukcije iste vrste. Zbog toga nije nam moguće, da se pozabavimo ovdje iscrpljivo i detaljno sa svim tim konstrukcijama. Ograničit ćemo se tek na jednostavnije, koje dolaze u obzir kod plavljenja, dok u pogledu ostalih upućujemo na stručnu literaturu, citiranu na kraju ovog poglavlja.

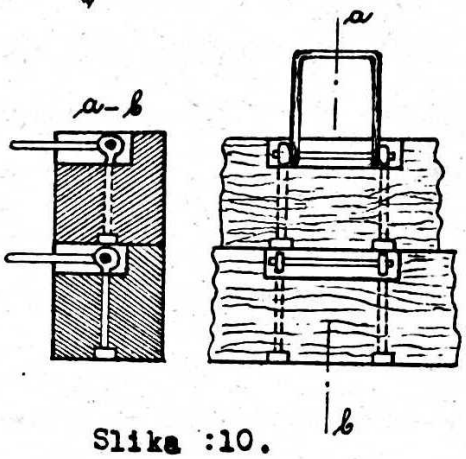
Jednostavna je brana, kao pokretljiv dio ustave, složena od grednih uložaka / Dammbalkenwehre / . Te grede ulažu se u horizontalnom položaju u šip ili utor izradjen u masivnom dijelu ustave . U šip / $\mathcal{U}$ / izradjen prema slici 9., mogu se ulagati grede samo odozgo, dok do utora $\mathcal{U}_1$, slika 9a., mogu se dopremiti grede po vodi plivajući i sa strane. Grede su otesane četverobridno, na krajevima okovane, pa na dva mjesta providjene sa karikama, s pomoću kojih se lako vade / slika 10. / . Najdonja greda počiva u dnu na ne-

pomično ugradjenom pragu. Utor se oblaže sa L željezom, a šip sa ⊏ željezom u masivnom dijelu ustave. Pritisak vode podržaje pak greda tijesno uz zid tako, da dobro zatvaraju ispust. Ulaganje daje više poteškoća od vadjenja. Zbog uzgona svaku gredu treba silom potisnuti na svoje mjesto. Upotrebljavaju se ovakove brane kod niskog uspora / 2 do 3 m. / u otvorima do najviše 6 m. širokih, ili kod visokog uspora u uzanim otvorima. Ima li ustava samo jedan otvor, ulaganje i vadjenje greda obično ne zadaje poteškoća. Uspor vode raste ili pada uvijek sa posljednom gredom, koja se ulaže dotično vadi. Poslijednja greda nalazi se dakle uvijek u blizini površine vode, pod malenim pritiskom. Ima li ustava više otvora, pa kod jake struje ili uopće pod velikim pritiskom rukovanje sa gredama je oteščano, treba uzeti u pomoć strojeve. U pravilu ovakova brana upotrebljava se na ustavama samo sa jednim / glavnim / ispustom, koji se otvara i ne zatvara često.

Slika : 9.

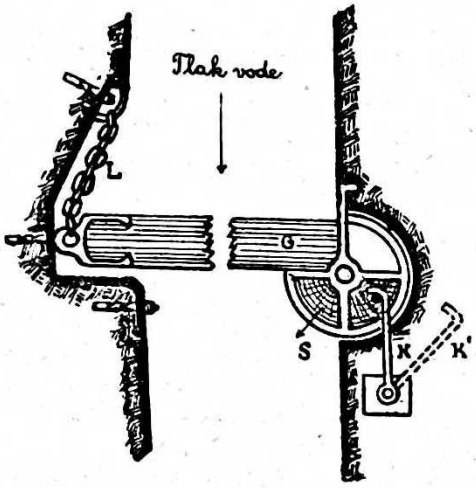


Slika : 9a.

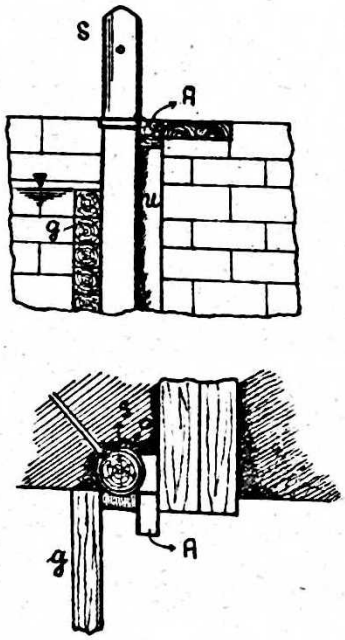


Slika :10.

U vodotocima, u kojima visoki vodostaji nastupaju naglo, pa treba propustiti poplavnu vodu što brže, vadjenje greda iz utora brane, na prije opisani način, ne bi možda pravovremeno dovršeno bilo. Da se izbjegnu loše posljedice, koje bi zbog toga mogle nastati, dotjerana je gredna brana na način predočen na slici 11. i 12. U jednom i drugom slučaju prislonjene su grede s jednim krajem na stup S , koji se može okrenuti oko svoje osovine. Kod konstrukcije sl.11., stup je polucilindričan, a podržaje ga u položaju, u kojem zatvara ispust, kuka K . Zakrene li se kuka u položaj K' , okrene se i stup S tako, da ispuni posvema polukružan utor u ma-



Slika : 11.

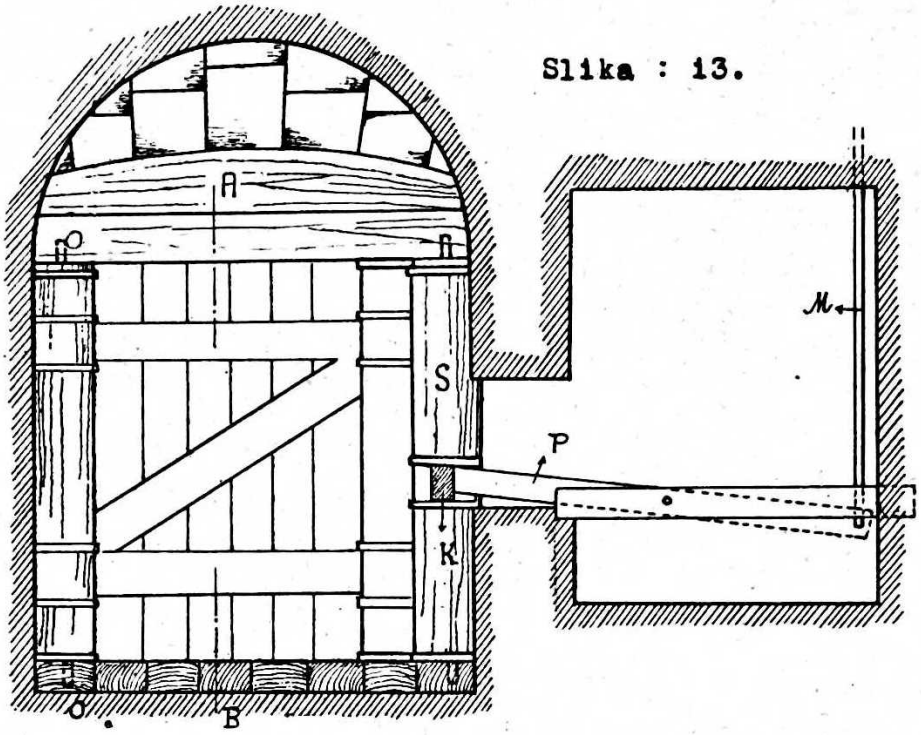


Slika : 12.

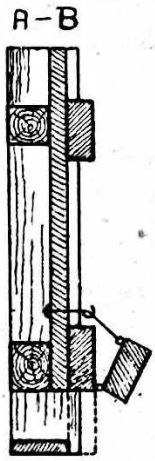
sivnom dijelu ustave. Grede pak, izgubivši uporište, sve u isti čas potpuno otvore ispust. Da ih pak voda ne ponese sa sobom,na drugom kraju svaka je povezana s lancem L o zid ustave .

Kod konstrukcije slike 12. stup je potpuni cilindar, okreće se u dnu na trnku,a u vrhu u željeznom obruću o . Grede g , zatvarajući ispust,naslanjaju se na taj stup; ovog opet podržaje u tom položaju klin A , koji je uklješten u zidu u utoru u .- Izvadi li se klin A , stup se okrene, a otvor ispusta potpuno otvori. Klin je obložen sa limom i lancem spojen sa stupom S .

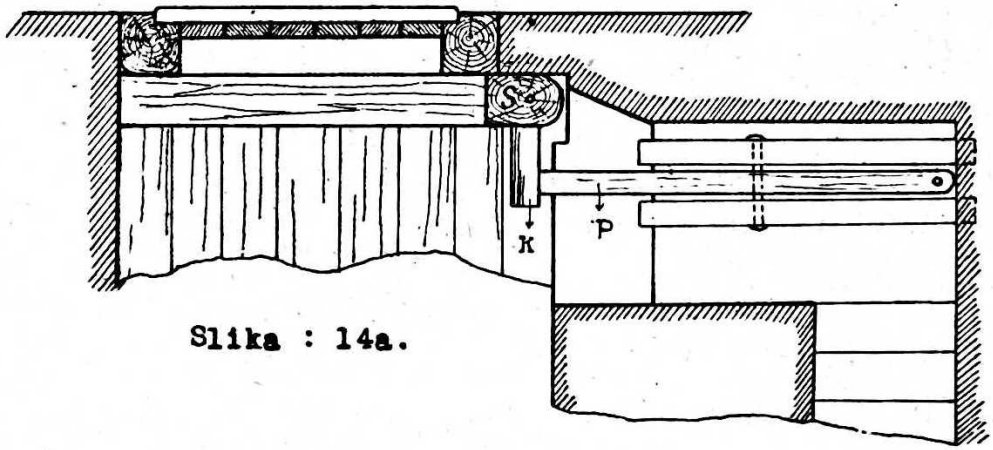
Zamislimo kod posljednje konstrukcije sve grede spojene u cjelinu nastaju v r a t a ,s kojima se često, naročito kod starijih ustava zatvaraju i otvaraju glavni ispusti za plavljenje. Osovina oko kojih se okreću, kod jednih je vratiju vertikalna, kod drugih horizontalna. Nadalje, vertikalna osovina može da leži na rubu ili unutar površine vratiju,a horizontalna na gornjem ili na donjem rubu. Od ovih pokazala se kao najbolja vrata sa vertikalnom osovinom na rubu. Slika 13 do 15 predočuje konstrukciju takovih vratiju / Schlagtor / sa detaljima. Vrata se okreću oko osovine o-o / sl.13. / na lijevom rubu. U zatvorenom položaju podržaje ih stup S ,



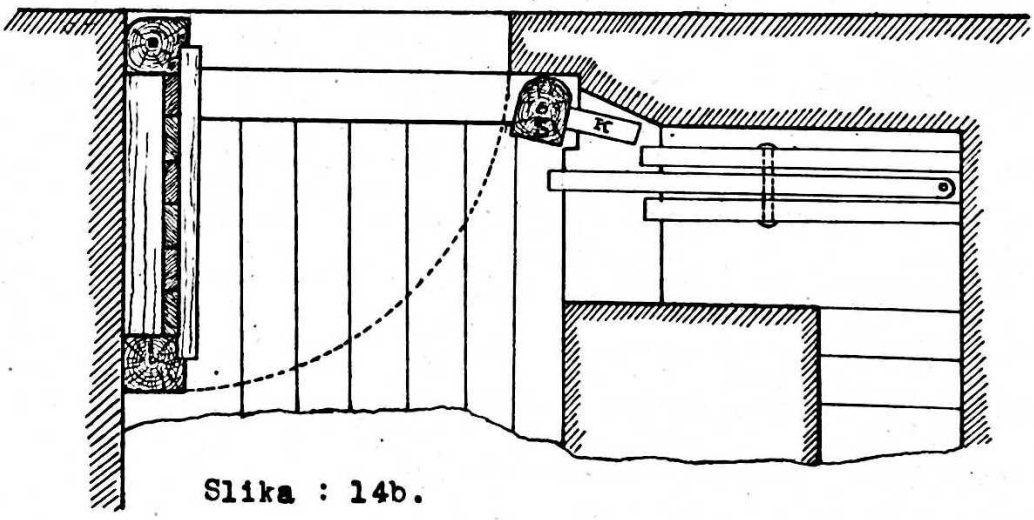
Slika : 13.



Slika : 15.



Slika : 14a.



Slika : 14b.

koji se može okretati takodjer oko vertikalne osovine. U stup S usadjen je hrastov klin K , a naslanja se sa slobodnim krajem na polugu P . Ova je opet s protivnog kraja spojena sa verti-kalnom

motkom M . Potisne li se motka M prema dolje, kraj poluge P , uz klin K , odskoći gore, a stup S zajedno sa klinom K izgubivši uporište s jedne strane, potiskivan pak vratima s druge strane, zakrene se u položaj označen na slici 14b . Na taj način vrata se naglo otvore i snažnim udarcem udare o masivni dio ustave . Vrata se lako zatvaraju s pomoću capina. Treba li da propuštaju nješto vode i u zatvorenom položaju / na pr. kod punog vodospremišta, da djeluju namjesto prelijeva / izradjuje se donji dio na način predočen na slici 15 . Najdonja poprečna greda može se zakrenuti oko šarnira, podignuti i prikopčati na vrata tako, da donji dio vratiju propušta vodu . Obične dimenzije vratiju su ove : visina 1,5 do 2,5 m; širina 1,5 do 2,5 m. Izradjuju se od 8 do 16 cm. jakih platica, sa odgovarajućim poprečnim i unakrsnim vezom. Stupovi okvira vratiju okovani su željeznim obručima na više mjesta i spojeni sa platicama sa željeznim šinjama. Otvaranje i zatvaranje vratiju nije skopčano sa poteškočama, niti je vezano na broj ispusta kao kod gredne brane, no velika mana vratiju je snažan udarac, kojim udaraju o masivni dio ustave, prigodom otvaranja, pa nemogućnost regulisanja količine propuštene vode. Od udarca potrese cijela ustava i onda, kad se zid obloži sa granjem, slamom i t.d. Zbog toga ugradjuju se takova vrata redovno u kombinaciji sa konstrukcijom, koja bolje ekonomiše sa propuštanjem vode / zapornica / . Ima li ustava samo jedan glavni ispust, providjen je taj sa vratima i sa zapornicom, da se mogu upotrijebiti jedna ili druga već prema potrebi ili, ima li ustava dva takova ispusta, jedan se otvara vratima, a drugi sa zapornicom.

Z a p o r n i c a je takodjer ploča izradjena od drva ili željeza, no otvarajući se ne okreće se oko osovine, nego se diže vertikalno u vis, u utoru ili šipu izradjenom u masivnom dijelu ustave. Drvena zapornica izradjena je od platica, horizontalno položenih jedna povrh druge na visinu i širinu ispusta. Debljina platica zavisi o dubini ispusta ispod najvećeg vodostaja. Odredjuje se po najdonjoj platici, koja je izložena najvećem pritisku vode .

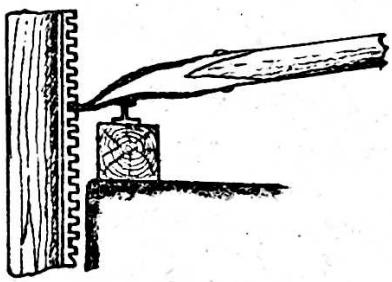
Ako je l svijetla širina ispusta, h najveća visinska razlika izmedju vodostaja u razini donjeg ruba zapornice i najvećeg vodostaja gornje / usporene / vode, σ dozvoljeno naprezanje pregibanja, debljina hrastove platice b računa se po formuli / l i h u metrima, b u cm. / : $b = 27{,}4\, l\sqrt{\frac{h}{\sigma}}$, ili za $\sigma = 60 \sim 80\ kg/cm^2$ $b = (3{,}5 \text{ do } 3{,}1)\, l\sqrt{h}$ prosječno dakle: $b = \frac{10}{3} l\sqrt{h}$ *).

Za razne visine h , te razne širine l , potrebna debljina platica / u centimetrima / iskazana je u priloženoj tablici.-

h m	l m							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	b cm							
1	3,3	6,7	10,0	13,3	16,7	20,0	23,3	26,7
2	4,7	9,4	14,1	18,9	23,6	28,3	·	·
3	5,8	11,5	17,3	23,1	28,9	·	·	·
4	6,7	13,3	20,0	26,7	·	·	·	·
5	7,5	14,9	22,4	29,8	·	·	·	·
6	8,2	16,3	24,5	·	·	·	·	·
7	8,8	17,6	26,5	·	·	·	·	·
8	9,4	18,9	28,3	·	·	·	·	·
9	10,0	20,0	30,0	·	·	·	·	·
10	10,5	21,1	31,6	·	·	·	·	·

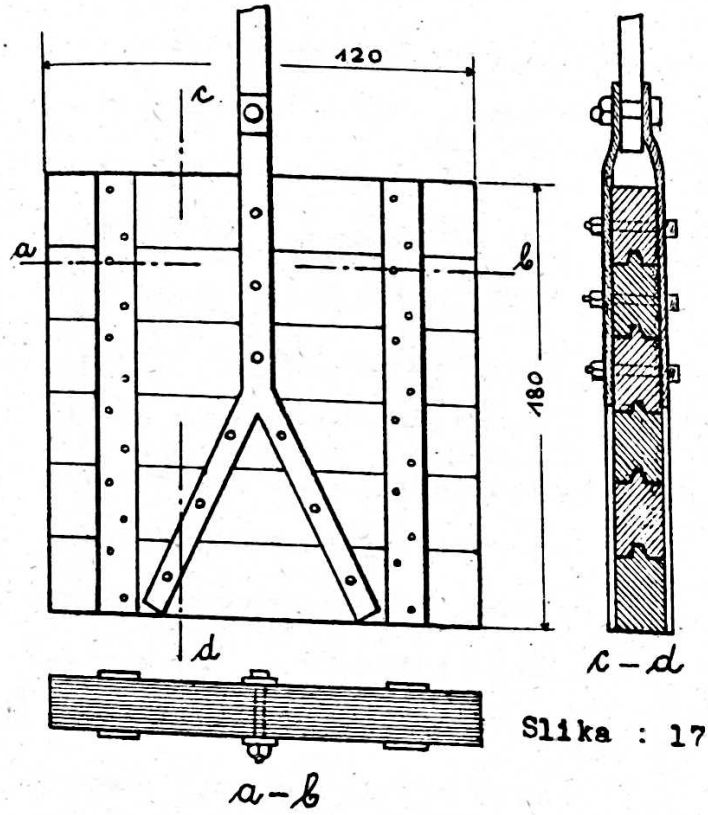
Zbog habanja, kome su zapornice izvrgnute, računsku vrijednost b treba primjereno zaokružiti prema gore. Zapornicu za ispust manjeg otvora / na pr. u dnu ustave, za ispražnjenje vodospremišta / predočuje slika 17. Platice su izradjene na šip i pero. U ojelinu ih spajaju obostrano pričvršćene jake željezne šinje. Dizati i spuštati može se ovakova manja zapornica i s pomoću samo jedne motke, montirane u sredini, u težištu ploče. Izvršuje se pak dizanje i spuštanje neposredno s rukom ili s pomoću stroja, već prema težini zapornice. Najjednostavniji takav stroj je poluga, ozib ili duskija, koja

*) Ova formula služi takodjer za izračunanje debljine prije opisane gredne brane.

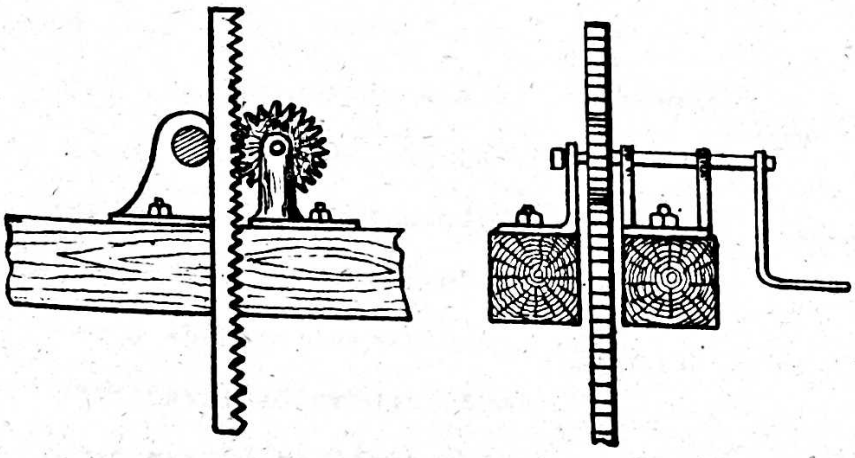


Slika : 16.

hvata o nazubljeno željezo, montirano na motki, a ziba se na podloženom ⊥ željezu / isporedi sl.16 / . Leži li ispust duboko, a zapornica je teža, upotrebljava se stroj predočen na slici 18 ili stroj slika 19. Na prvi način / rukom ili polugom / potezana zapornica lako zapne u utoru / povodu /, ako se ne pazi i tačno ne pridržaje smjer njezine vertikalne težišnjice. Jedan i drugi stroj / sl.18 i 19 / ne diže samo zapornicu nego vadi takodjer motku u ispravnom položaju . osim toga strojevi omogućuju i djelomično otvaranje ispusta, na potrebnu visinu, precizno i tačno.

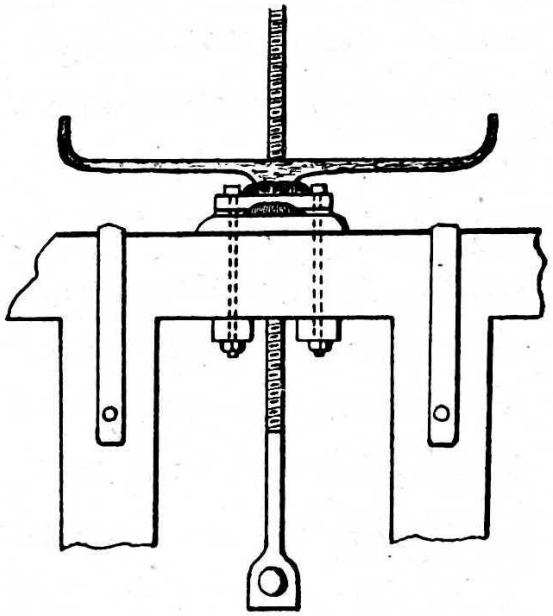


Slika : 17.

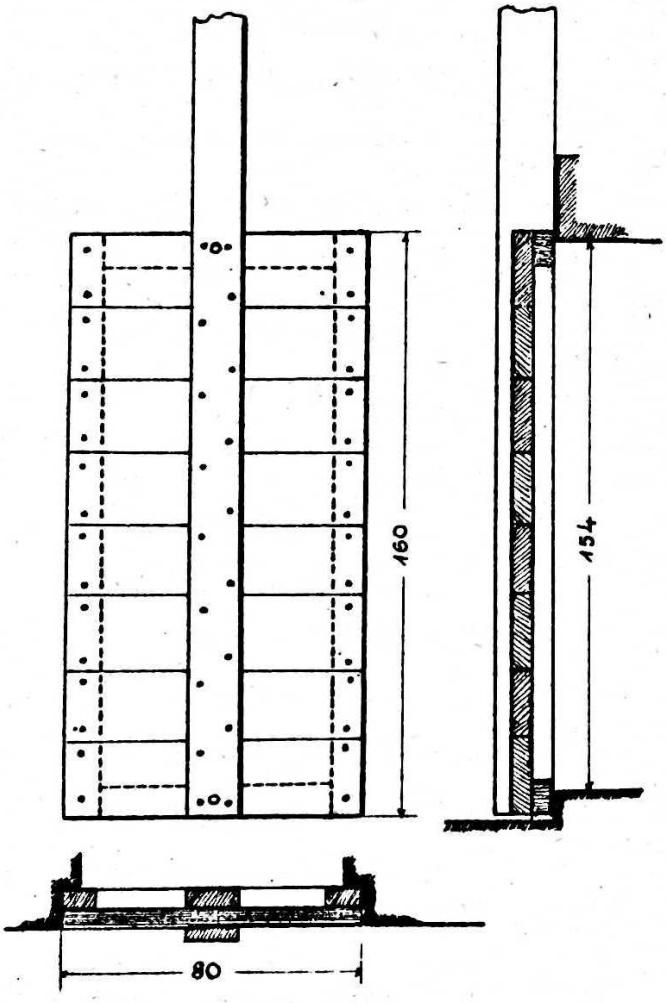


Slika : 18.

Slika 20 predočuje lakšu zapornicu, takodjer manjeg ispusta. Platice nijesu spojene na šip i pero, nego su podbočene na tri mjesta: na obrubnim stupovi-



Slika : 19.

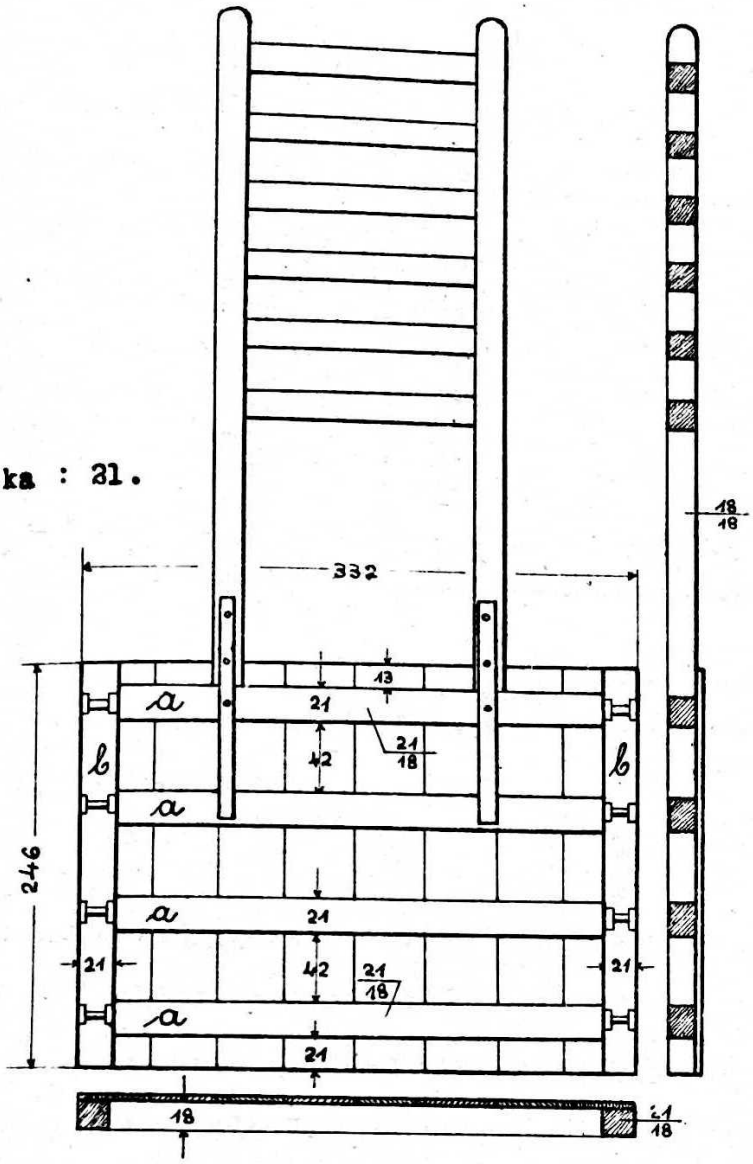


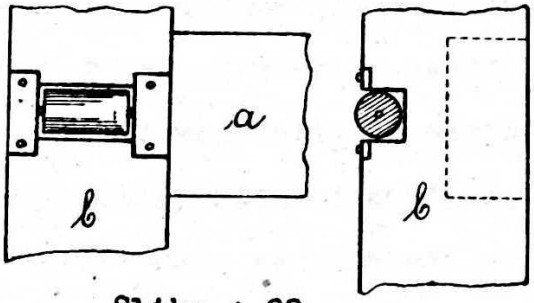
Slika : 20.

ma okvira, pa na jače dimenzioniranoj motki u sredini, koja je u tu svrhu probušena široko, koliko su platice jake. Na taj način izradjena zapornica je laka, pa opet vrlo čvrsta.

Slika 21 predočuje veću zapornicu izradjenu po istom principu, da bude što lakša. Pritisak vode preuzimaju horizontalne grede *a* i prenose ga na rubne stupove *b* . Na taj način oplata zapornice od vertikalnih dasaka ispala je tanka. Za lakše dizanje i spuštanje usadjeni su u rubne stupove željezni valjčići, u primjerenim razmacima / slika 22 / . Zapornica je ovješena na dvije drvene motke, medjusobno spojene drvenim šprljcima, poput ljestvi. Diže se i spušta s pomoću poluge. Veći ispusti, naročito, ako su izloženi velikom pritisku vode, zatvaraju se i otvaraju danas najčešće s pomoću zapornica izradjenih na način, predočen na slici 23 . Zapornica sastoji od četverobridno tačno otesanih greda, balvana, kvadratnog ili pravokutnog ob-

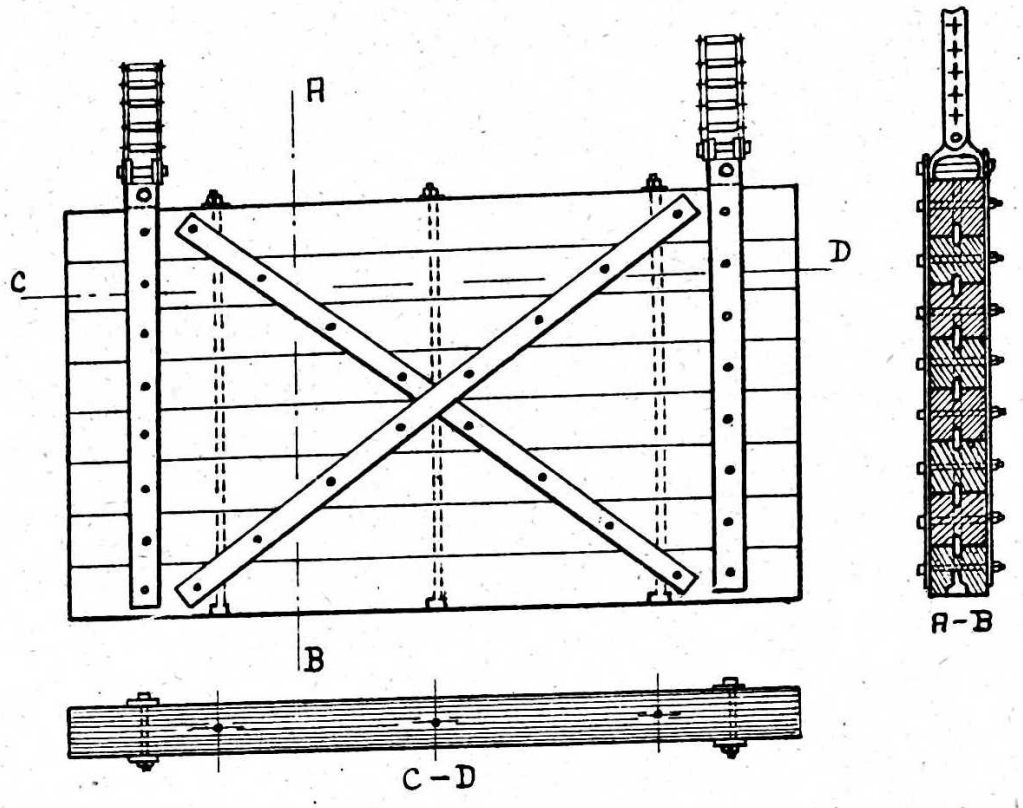
Slika : 21.





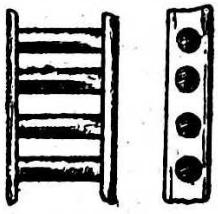
Slika : 22

lika, izrdjenih na šip i pero, ili spojenih medjusobno sa uloženim drvenim ili željeznim perom, pa povezanih u cjelinu s pomoću naskroz provučenih jakih svornica. Ovako sastavljenu ploču nije ni potrebno šuperiti, jer dobro pritegnute svornice dovoljno zagušuju reške. Svaku veću zapornicu potrebno je učvrstiti i unakrsnim vezom. Zbog toga je i ova zapornica povezana još i željeznim šinjama u smjeru dijagonala na obim stranama. Da se spriječi nagibanje pa zapinjanje uglova u povodu, već od jednog metra širje zapornice dobro je ovjesiti na dva mjesta. Zbog toga je i ova zapornica ovješena na dva mjesta, na željezne motke providjene sa željeznim šprljcima, / Bolzenstange / , s pomoću kojih se diže i spušta. Željezne šinje, u koje se hvataju te motke, pričvršćene su svornicama, na svaku gredu zapornice i to obostrano , da osovina motke za dizanje i spuštanje leži u težišnjoj ravnini zapornice. Diže se pak i spušta zapornica s pomoću stroja, koji je



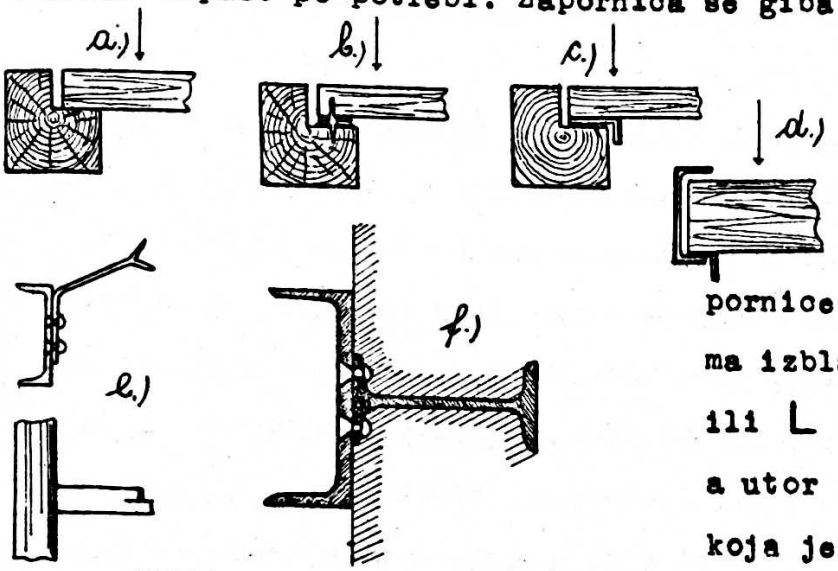
Slika : 23.

montiran na vrhu ustave ili na poslužnom mostu. Sastoji pak od horizontalne osovine, na kojoj su pričvršćeni nazubljeni točkovi,za svaku motku po jedan. Zubi tih točkova ulaze medju šprljke motke. ako se dakle osovina okreće,ti zubi dižu dotično spuštaju obje motke istodobno i jednolično,dakle dižu ili spuštaju zapornicu već prema potrebi. Daljnjim prenosnim uredjajima olakšano je okretanje osovine tako, da je za otvoranje, dotično zatvaranje ispusta potrebno najviše 4 čovjeka / 2 sa svake strane /, izvršuje li se ovo rukom. Ne može li se to postići, zbog otpora i velike težine zapornice, za dizanje i spuštanje upotrebljavaju se motori. Željezna motka sa šprljcima / Bolzenstange,sl.24/ u novije doba upotrebljava se gotovo isključivo, dapače i kod malih zapornica. Namjesto te motke prije, a gdjekad još i danas, služio je lanac, koji se namotava odnosno odmotava sa vretena na poslužnom mostu.



Slika : 24.

Lanac i vreteno ali,kolikogod je zgodan kod dizanja,toliko je nezgodan kod spuštanja. Zbog uzgona i drugih otpora potrebno je naime silom spuštati zapornicu na odredjeno mjesto, na pr. opterećenjem. Motka pak, jer je ukručena proti izvijanju,radi u jednom i drugom smjeru jednako sigurno, osim toga bolje i preciznije otvara i djelomično ispust po potrebi. Zapornica se giba takodjer u utoru ili u šipu. Ako je malena dovoljno je utor samo izblanjati / slika 25a / . Veće zapornice okovane su na rubovima izblanjanim šinjama / sl.25b/ ili L željezom / sl. 25c i d /, a utor je obložen sa šinjom, koja je učvršćena na drvo sa vijcima upuštenih glava. Kod zidanih ustava kao povod služi C željezo, koje je učvršćeno u zid na način predočen na sl.25e , s pomoću prikovanih capica ili je ubetonirano u zid s pomoću prikovanog I željeza na način predočen na sl. 25f . Da se olakša rukovanje sa zapornicama, naročito dizanje, veći otvori razdijele se vertikalno, gdjekad i horizontalno u više polja, a svako polje otvara i zatvara posebnom zapornicom. Zapornice u istom horizontalnom redu odijeljene su medjusobno stupovima,najpotrebnije širine, koji su udešeni gdjekad i tako, da se ukloniti mogu, ako je to potrebno za nesmetan prolaz velike vode. Zapornice jedna nad drugom gibaju se u istoj ravnini, u istom povodu, ili češće u paralelnim ravninama, u zasebnim povodima, od kojih je vanjski redovno utor, a nutarnji šip. Da se olakša dizanje teških zapornica upotrebljavaju se i protu-utezi, ovješeni na lancima ili na žičnim užetima pa preko kolotura na poslužnom mostu spojeni sa zapornicom. Da se pak smanji trenje umeću se i valjci, pa točkovi izmed utora i zapornice. Samo iz drva grade se do najviše 30 cm. jake zapornice . Traži li pritisak vode jače dimenzije, može se još drvena zaporni-



Slika : 25.

Slika : 36

ca pojačati armaturom, umetanjem I i C željeza prema slici 26. Još jače zapornice grade se samo iz željeza. Zapornica je jednostavna i sigurna naprava,koja zadovoljava potrebama plavljenja u kud i kamo najviše slučajeva. Dobro izvedena najmanje propušta vodu. Lako se otvara i regulira otvor ispusta po potrebi. Iziskuje ali u svakom slučaju poslužni most i pouzdanu poslugu. Od ostalih konstrukcija, koje još dolaze u obzir u novije doba kod plavljenja spominjemo samo:preklopne,krovne, sektor i segment brane. U detalje ovih kompliciranijih brana, koje iziskuju naročitu stručnu izradbu, a grade se gotovo isključivo iz željeza, ne možemo ovdje ulaziti. Spominjemo tek da od svih brana zapornica najbolje podnosi obilje obluća,a najmanje sektor i preklopna brana.

Izgradnja ustave u svakom je slučaju skopčana sa velikim troškom. Potreba te izgradnje mora dakle biti valjano opravdana. Na temelju tačnog proučavanja sviju utjecaja mora rezultirati kao najpovoljnije rješenje. Dolazi u obzir naravno tek u kraju, koji pogoduje u prvom redu plavljenju kao najpodesnijem transportnom sredstvu uopće. Govore za nju pak još i ove specijalne prilike : korito vodotoka,koje je uz malo vode vrlo nepravilnog, litičastog dna, puno kamenja,obluća i nanosa, te bi čišćenje na dužem potezu bilo tek od privremene koristi, unatoč velikih troškova; kratkotrajan povoljan vodostaj uopće,uz obilje drvne mase,koju treba otpremati; povoljan smjer i dobro stanje obala tako,da za vještačko uzdržavanje povoljnog vodostaja,kao što i za samo plavljenje ne će biti od potrebe podizati naprave ili izvadjati regulatorne radnje većih dimenzija i investicija u vodotoku, nakon podignuća ustave; konačno pogoduju podignuću ustave povoljne gradjevne prilike uopće, siguran izgled na uspjeh, pa još i druge sekundarne koristi od ustave, kako će se to vidjeti poslije. U tu svrhu potrebne opsežne tehničke predradnje treba izvršiti svestrano, savjesno i detaljno.

Prije svega treba ispitati pa iznijeti sve bitne geološke i hidrografske prilike kraja, koji dolazi u obzir. Istražiti gradilište: redosljed, pružanje i dubinu pojedinih slojeva; njihov sadržaj, nepropusnost i nosivost. Odrediti količine voda uz različiti vodostaj u vodotoku, ne samo iz oborinskog područja, nego i neposrednim mjerenjem vode u vodotoku. Iskazati prosječnu periodičku izdašnost vodotoka naročito u godišnjoj dobi, u kojoj će ustava raditi. Izračunati količinu magazinirane vode, potrebnu za uzdržavanje povoljnog vodostaja u vodotoku, u vrijeme plavljenja ili u još koju drugu svrhu. Prema tome odmjeriti visinu uspora, te kubni sadržaj vodospremišta. Izračunati vrijeme potrebno za napunjenje pa ispražnjenje vodospremišta. Iz ovih podataka, pa iz specijalnih prilika gradilišta izlaze već glavni obrisi ustave, barem u glavnim dimenzijama. Odlučit se treba samo još za najpovoljniju konstrukciju i najpodesniji gradjevni materijal, pa osnovati ustavu, broj i veličinu ispusta, podslapište, jednom riječju sve detalje prema potrebama plavljenja, oprezno i u skladu sa karakterom vodotoka . Naročito za veliku i katastrofalnu vodu treba osigurati, brz, prostran i nepogibeljan prolaz u svako doba.

Kao primjer vodotoka, uredjenog za plavljenje s pomoću ustava, navodimo potok Steyrling / koji utječe u Steyr, a ovaj opet u Enns, pritok Dunava / u Gornjoj Austriji, a služi za eksploataciju šume Bernerau veleposjeda Schaumburg-Lippe sa sjedištem u Steyrlingu. Prije konačnog uredjenja otpremalo se drvo iz rečenih šuma plavljenjem samo djelomično, a djelomično transportirala se roba i kopnom. Da se uštedi na troškovima, pa eliminira mješovit način transporta, trebalo je najprije staviti srednji dio potoka Steyrlinga i to od ušća potoka Hungerau pa do ušća potoka Zösen u podesno stanje za neprekinutu otpremu drva plavljenjem. Srednji dio potoka Steyrlinga ima naime prilično povoljan smjer i pravilan profil, ali je pun litica, kamenja i raznog nanosa. Ukloniti se je mogla ta zapreka uredjenjem i čišćenjem korita ili vještačkim povišenjem vodostaja. Uvaživši sve prilike odlučilo se za ovo potonje, te je u svrhu povišenja vodostaja podignuta ustava na početku

poteza, u koritu pritoka Hungerau. Ustava je izgradjena u obliku 12 m. visoke betonske pregrade, sa ispustom u dnu, za ispražnjenje vodospremišta, pa sa drugim ispustom, 6,0 m. iznad dna, za otpuštanje vode u svrhu podržavanja vodostaja potrebnog za plavljenje, pa još sa jednim ispustom u vrhu zida,na koji je priključeno vodeno točilo. Vodospremište dimenzionirano je obilno tako, da magazirana voda ne dostaje samo za vještačko podržavanje vodostaja u vrijeme plavljenja, nego pretičak pa u ostalo vrijeme služi još i kao rezerva za pogon električne pilane u Brunnenthalu, o kojoj će biti govora malo poslije. Drvo, sakupljeno iznad ustave, spušta se s pomoću točila iz vodospremišta u korito ispod ustave,a odavle dalje plavi sa ostalim prinadošlim drvom u naravnom koritu potoka Steyrlinga sve do ušća pritoka Zösen. Vodostaj u tom dijelu potoka,podržaje se pak na potrebnoj visini s pomoću preciznih pokretljivih dijelova ove jedine ustave, tačno prema potrebi.

Pritok Zösen prolazi litičastom provalijom sa padom i vodostajem od prirode nepodesnim za neposredno plavljenje. Iz razloga pak, što taj pritok takodjer otvara šumu, što je i njegova voda potrebna za daljnji transport drva,pa za pilanu u Brunnenthalu,uredjen je i taj pritok za plavljenje. Iskorišćeni su bili u tu svrhu zgodni tjesnaci u dolini tog pritoka, na kojima su podignute drvene ustave / osim posljednje /, 5 njih na broju, na potezu od njeko 2 kilometra. Visina tih ustava kreće se izmedju 5 i 12 m . Budući da su kratke, izvedene su u obliku nepropusnih drvenih stijena, izradjenih od horizontalnih balvana / Krainerwand /, a poduprtih tek vertikalnim stupovima i horizontalnim kosnicima, koje se upiru o litičaste obale. Svaka ustava providjena je sa ispustom u dnu, prelijevom, pa sa ispustom u vrhu, za priključeno vodeno točilo. Ovakvo točilo izgradjeno je iza svake ustave, od njezinog vrha pa do početka vodospremišta slijedeće niže ustave, u nagibu od 4 do 9 % . Pred početkom plavljenja zatvori se ispust u dnu najgornje ustave i pričeka, dok se vodospremište iza nje ne napuni sa vodom. Potom se otvori najgornji ispust i pripremljeno dr-

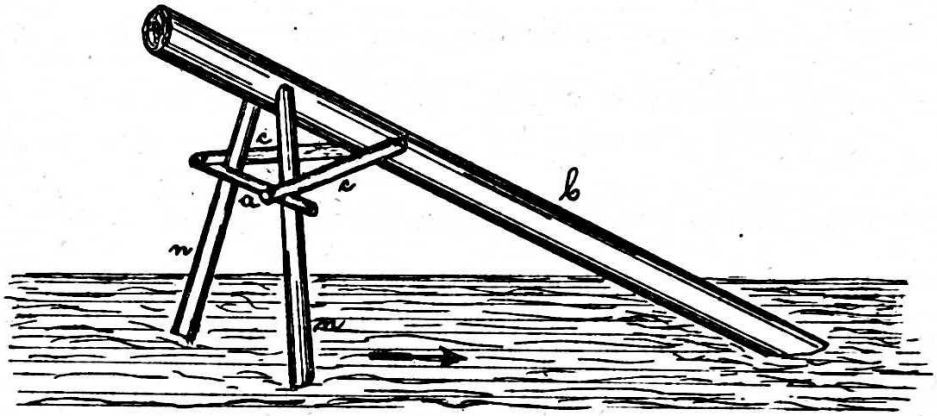
vo propusti kroz točilo iz vodospremišta najgornje u vodospremite slijedeće niže ustave. Ova sad poprima ulogu najgornje ustave t.j. opet se pričeka, dok se njeno vodospremište napuni vodom i potom otpusti drvo s pomoću točila do slijedećeg nižeg vodospremišta i tako dalje postupa, dok drvo ne stigne do posljednje ustave. Vodospremište, ustava i ispusti udešeni su naravno tako, da je točilo neprekidno i dovoljno snabdjeveno sa vodom, dok pripremljeno drvo prolazi njime. Najdonja ustava izvedena je od betona a točilo, koje silazi s njenog vrha ulazi u glavni žlijeb izgradjen u dolini potoka Steyrlinga.

Glavni žlijeb počinje naime još iznad ušća potoka Zösen, gdje hvata vodu i drvo doplavljeno naravnim tokom prije opisanog srednjeg dijela potoka Steyrlinga, pa primivši u sebe još vodu i drvo iz doline pritoka Zösen, sve zajedno dalje otprema do električne pilane u Brunnenthalu. Taj žlijeb, zapravo kanal, nagiba 0,5 % , dugačak je 1,8 km. Izradjen je od drvenih dužica na način, predočen i opisan u prvom poglavlju, tačka 9b / sl. 53a i b, patent Öhrag /. Svršava u vodospremištu opet jedne i to posljednje ustave u Brunnenthalu. Doplavljeno i sakupljeno drvo u tom vodospremištu hvata se i otprema do stovarišta i skladišta suhim drvenim točilima. Voda pak propada kroz željeznu rešetku iz vodospremišta u rov, iz kojeg se odvodi u tlačnim cijevima do turbina električne centrale. Normalna količina vode mjeri 350 lit./sec. / maksimum 500 lit./sec. /, a polučeni efekat iznosi njeko 80 KS. Otpadni kanal električne centrale prolazi kroz stovarište i skladište, a služi ujedno za otpremu naskladane zalihe drva do električno pogonjenih pila i gatera . Sve su ove radnje i gradnje dovršene u roku od g. 1921 do g. 1923.

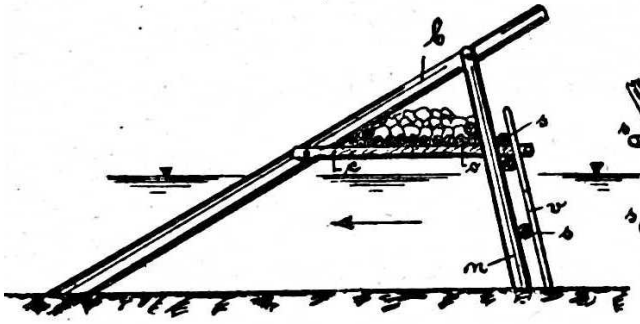
5. Uredjaji za skretanje i hvatanje plavljenog drva.

Treba li vaditi doplavljeno drvo iz glavnog vodotoka neposredno na odredjenom mjestu / odredištu /, potrebni su naročiti uredjaji, koji će spriječiti daljnje plavljenje, zaustaviti doplavljenu robu i

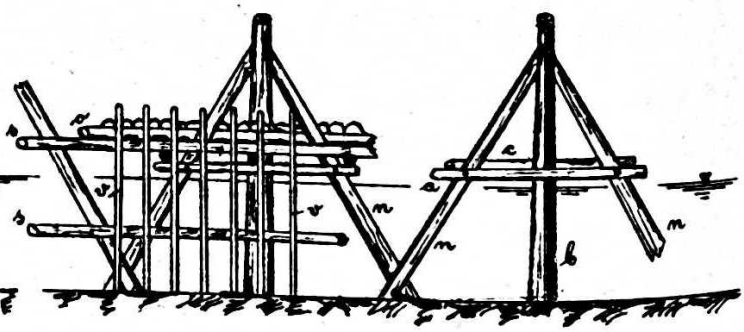
olakšati istovar budi u svrhu izradbe, budi u svrhu daljnjeg transporta, na drugi koji način. Vještačke naprave podignute u tu svrhu zovemo u kratko : h v a t a l j k e, a prostor u kojem se sakuplja zaustavljeno drvo zovemo h v a t a l i š t e .Na manjim vodotocima, pa u prilikama, u kojima se plavljenje izvršuje tek od zgode do zgode, upotrebljavaju se primitivne hvataljke privremenog karaktera. Glavni elemenat ovakove hvataljke je tronog predočen na slici 27.



Slika : 27.



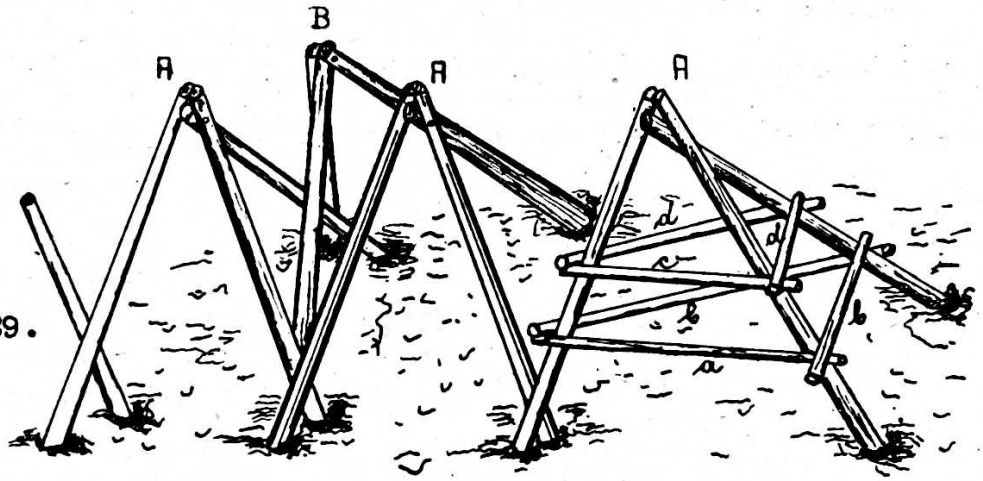
Slika : 28a.



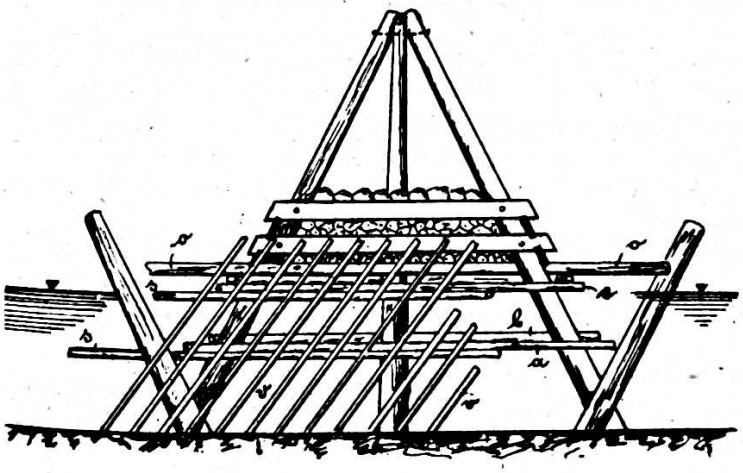
Slika : 28b.

Sastoji se od jakog balvana b , koji se upire s jednim krajem o korito a s drugim krajem izdiže se iznad vodotoka, podbočen nožicama m . Bočne oblice c i čeona oblica a vežu tronog u cjelinu, a služe još i drugu svrhu. Ovako dogotovljeni tronozi postave se naime u vodotok tako, da nožice dvaju susjednih tronoga podupirajući jedna drugu / slika 28b / čine stijenu, koja pregradjuje korito u poprečnom smjeru. Da ta stijena dobro odolijeva strujanju vode, pa udarcima doplavljenog drva, treba ju opteretiti, a da drvo ne uteče kroz nju, treba ju još i zgusnuti. Zbog toga provuku

se ispod balvana *b* i polože na bočni vez *c* oblice *o* , gusto jedna do druge, duž čitave stijene, a na nje natovari kamenje / slika 28a / . S druge strane pribiju se na nožice horizontalne oblice, oslonci *s* , a na ove opet vretena *v* na gusto toliko, koliko je potrebno, da drvo ne uteče,a opet da previše ne usporuju vodu. Gdjekad opterećuju se tronozi sa jakim i teškim, naskroz provučenim balvanima, namjesto sa slabijim oblicama i kamenometom. U jednom i drugom slučaju služi ta konstrukcija ujedno i kao poslužni most. Oslonci *s* su 10 do 16 cm. jake oblice na tanjem kraju,a na debljem su pritesani na tu mjeru, da ne usporuju vodu bez potrebe.Namjesto oslonaca može poslužiti vrlo dobro i razapeto žično uže, čvrsto usidreno na jednoj i na drugoj obali. Ovako razapeto uže diže otpornu snagu hvataljke uopće. Vretena su oblice, kod manjih uredjaja 5 do 8 cm. jake, a kod većih cca 10 cm. promjera. Ovu mjeru presižu uopće rijetko. Povezana su na oslonce šibom ili žicom. Nakon dovršenog plavljenja hvataljka se razgradi, te iznese na suho.



Slika : 29.



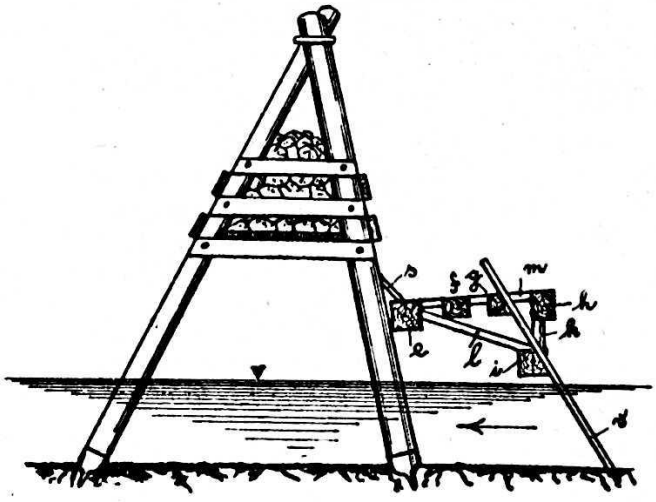
Slika : 30.

Za duboku vodu potrebni su jači tronozi. Složeni su od podjednakih balvana, na tankom kraju 16 do 21 cm. jaka, a 5 do 12 m. dugačka, već prema dubljini vode. Čine piramidu u vrhu cca 50° medjusobno

nagnutih stranica. Vrh je ukručen s pomoću provučene svornice. Tronog se slaže na obali. Poveže se,cca 1,2 m. visoko nad tlom, sa bočnim / b, sl.29 / i čeonim vezom / a, sl.29 /. Potom se stavlja u vodu i to opet tako, da se ukrštavaju i podupiru prednje noge susjednih tronoga. Gornji vez / c,d, sl.29 / nosi pod od oblica i kamenomet na njemu. Smješten je tako, da pod od oblica leži iznad najvišeg vodostaja u vrijeme plavljenja. Na prednje noge pribiju se i učvrste oslonci *s* ,a na ove konačno još vretena *v* / sl. 30 /. Ova se polažu gdjekad i koso. Na ovaj način / zapravo dvostruko koso / položena vretena mogu se smještati u većem razmaku / 50 do 60 cm. /, a da ipak ne propuštaju drvo; odvode drvo i vodu na stranu, te lakše podnose pritisak struje i prometa. Uz veći takav pritisak, pa u dubljoj vodi uopće dobro je položiti tronoge u dva reda / A i B , slika 29 /. Tronozi drugog reda okrenuti su u tom slučaju samo sa jednom nogom uz vodu,s kojom ujedno podupiru ukrštene prednje noge susjednih tronoga prvog reda.

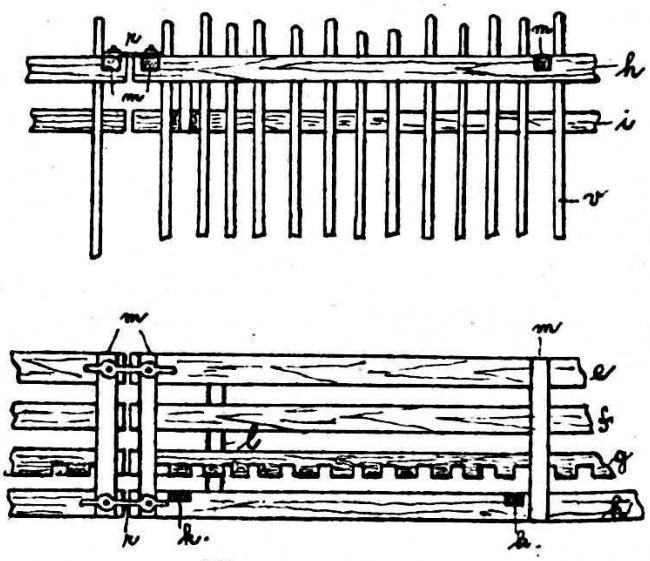
Mijenja li se vodostaj češće ili treba li otvoriti brzo prolaz bilo ladjama, koje plove vodotokom u drugu koju svrhu, bilo prevelikoj vodi, dobro može poslužiti hvataljka sa elastično ovješenim vreteništem, predočena na slici 31. Kostur hvataljke

Slika : 31. Pogled sprijeda.



Pogled sa strane.

Slika : 31a



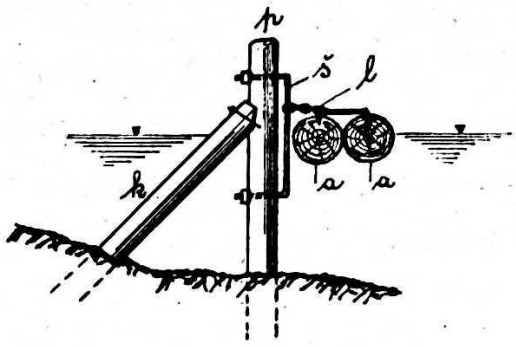
Tlocrt, slika: 31c

opet su tronozi složeni od 4 do 5 m. dugačkih, 16 do 21 cm prosječno jakih balvana, koji su spojeni sa željeznim obručem u vrhu piramide, a na donjem kraju okovani sa željeznim cipelama. Svaka cipela ima šiljak, koji daje tronogu veću stabilnost i otpornost. Tronozi su smješteni u razmaku od cca 6 m., pa opterećeni kamenom, slično kao i prijašnje hvataljke / sl.31a /. Vretenište ovješeno je na tronoge s pomoću pokretljivih željeznih skoba s . Sastoji pak iz greda : e/ 26 26 / f/ 21×16 / g/ 21×16 / i h/ 24×24 / u jednom redu. Na gredu g naslanjaju se vretena v / 11 do 13 cm. jaka/. Zbog toga je ta greda narovašena, u razmacima od 24 cm., sa 16 cm. širokim utorima / sl. 31c /. Kao drugo uporište vretenu služi greda i / 24×24 / ovješena s pomoću stupića k na gredu h i podbočena kosnicama l o gredu e / sl. 31a / . Vretenište složeno je od 11 do 12 m. dugih otsjeka. Grede svakog otsjeka spajaju se u cjelinu gredice m/ 8/16 /, a pojedini otsjeci spojeni su medjusobno s pomoću željeznih spojka n . Te spojke sastoje od dva spojena obruča, koji se nataknu na trnke usadjene u krajeve svakog otsjeka. Da ne ispadaju, kroz trnak provuče se klin. Svaki otsjek vreteništa lako i brzo se odriješi na ovaj način, pa ukloni po potrebi i za vrijeme plavljenja. Elastično pak podbočena vretena manje trpe od udaraca prometa.

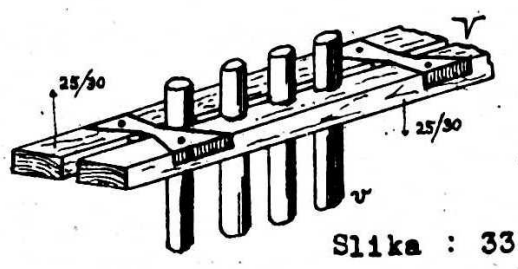
U gornjoj Italiji namjesto tronoga rado upotrebljavaju košare ispunjene kamenjem. Košare imadu oblik prikračenog čunja, u vrhu polumjera od 2,5 m. Visoke su 3 do 6 m., nagib stranice čunja iznosi 3 do 5 : 1 . Baze su polukružnog ili još bolje eliptičnog oblika. Prave se, da se oko okoraka oplete vrbovo, johino ili jasenovo šiblje. U visinskim razmacima od 2 do 3 m. provide se te košare još i sa podovima. Najdonji pod leži 60 do 70 cm. iznad donjeg ruba košare. Svaki pod sastoji pak od 5 do 6, kroz košaru paralelno provučenih arišovih oblica, 10 do 12 cm jakih, i od povrh ovih u dva reda položenih okoraka. Košare se pletu na obali, naglavce postavljene t.j. sa većom bazom okrenute gore. Dovršene otpreme se do svog mjesta, postave u vodu sa većom bazom dolje i sukcesivno

napunjaju oblućem i šljunkom, dok ne sjednu na dno, dotično dok se ne napune do vrha. Postavljene su u svjetlim razmacima od 8 do 9 m . Na košare se pričvrste još oslonci i vretena, pa poslužni most na poznat način. Ovako konstruirana hvataljka nije velike čvrstoće ni otporne snage, snažno usporuje vodu, a kratko traje. Jer se ali gradi jeftino, a lako razgradjuje, upotrebljava se kod plavljenja sporednog značenja, u krajevima, koji oskudjevaju na solidnijem gradjevnom materijalu.

U vodotocima, koji imadu pritoke, ili se razgranjuju u rukave, treba voditi plavljeno drvo, da putuje u odredjenom smjeru. Isto tako, gdjekad treba skrenuti plavljeno drvo iz glavnog vodotoka u pokrajni kanal i t.d. U takovim slučajevima potrebne su naprave, koje će ili odbijati drvo od stranputice, te skretati ga na pravi put. Jednostavnu takovu odbojnu napravu, koja se upotrebljava u prilično mirnoj vodi, predočuje slika 32. Sastoji se od pilota zabijenih u tlo, u smjeru transporta, u razmacima od 12 do 15 m., te poduprtih kosnicama. Prometom upravljaju zapravo balvani-plivaći, takodjer 12 do 15 m. dugi, položeni u jedan, u dva ili više paralelna reda, medjusobno spojeni skobama, svornicama ili obručima, te prislonjeni na te pilote. Pojedini otsjeci tih balvana-plivača spojeni su sa lancima u cjelinu. Da ih pak voda ne odnese, povezani su na pilote opet sa lancima / l /, koji se smiću po željeznoj šipki / š / gore dolje već prema stanju vodostaja. Balvani-plivaći ne odbijaju i ne vode drvo, koje pliva pod vodom. Treba li odbijati i takovo drvo, bolje će poslužiti plivajuće vretenište / V / sa vretenima / v /, predočeno na slici 33. I ovo sastoji od odsjeka, medjusobno spojenih lancima, pa pričvršče-

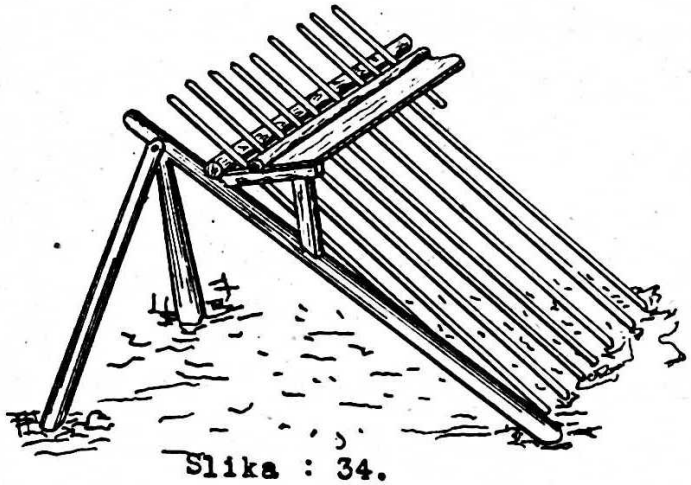


Slika : 32.



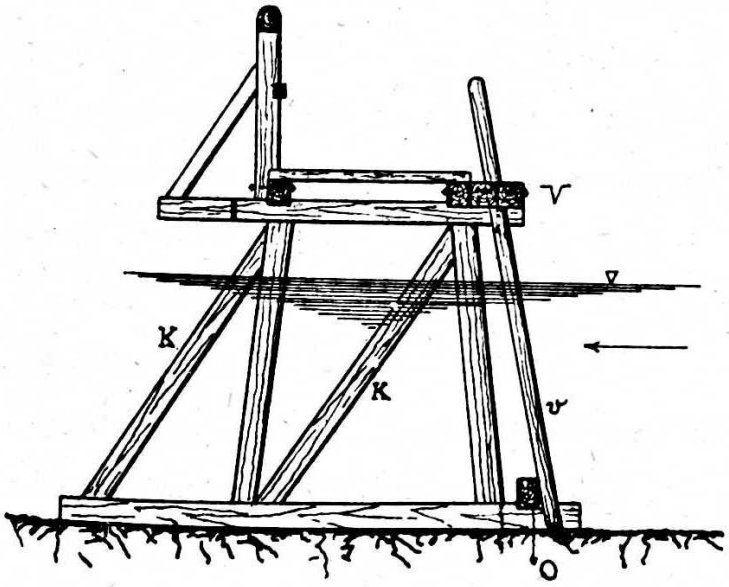
Slika : 33.

nih na pilote na način,opisan opisan kod balvana-plivača. Uz jače strujanje vode plivajuće odbojne naprave nijesu dovoljno otporne. U tom slučaju treba upotrijebiti snažnije naprave. Slika 34. predočuje ovakovu snažniju odbojnu napravu, pokretljivog karaktera, t.j. koja se može po izvršenom plavljenju lako otstraniti. Gradjena je na način tronožnih hvataljki, tek nije opterećena kamenom, no providjena je sa poslužnom stazom. Uz još jaću struju, pa snažniji pritisak prometa, odbojne naprave ne razlikuju se od hvataljki ni u čemu.



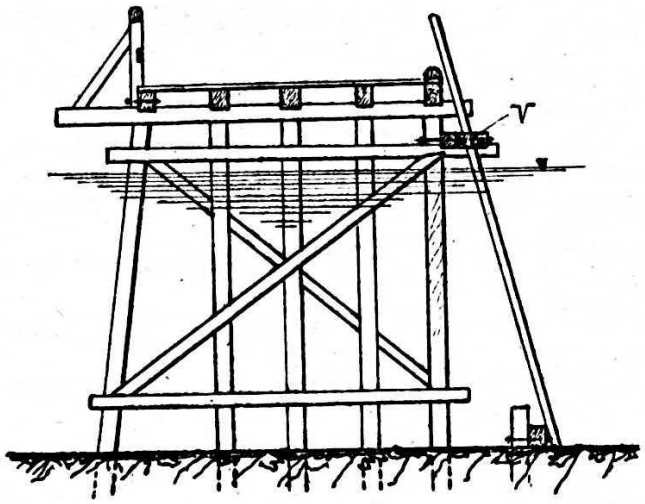
Slika : 34.

Češće od pokretljivih, podižu se za hvatanje,odbijanje i skretanje drva naprave stalnog karaktera. Naročito na vodotocima, uredjenima za redovno plavljenje. Jednostavnu konstrukciju stalne drvene hvataljke u nedubokoj vodi predočuje slika 35. Gradi se po principu drvenih mostova, tek što je stupište bolje učvršćeno i ukrućeno / kosnice *k* / u smjeru pritiska struje i prometa. Stupište, u razmacima od 4 do 6 m.,sastoji od pilota, koji su ubijeni u tlo ili, nije li to moguće, koji su usadjeni, pa skobama pričvršćeni na podnožnu podvalu, usidrenu u litičasto tlo. Vretenište *V* sastoji od dviju greda, spojenih svornicama. Vretena *v*

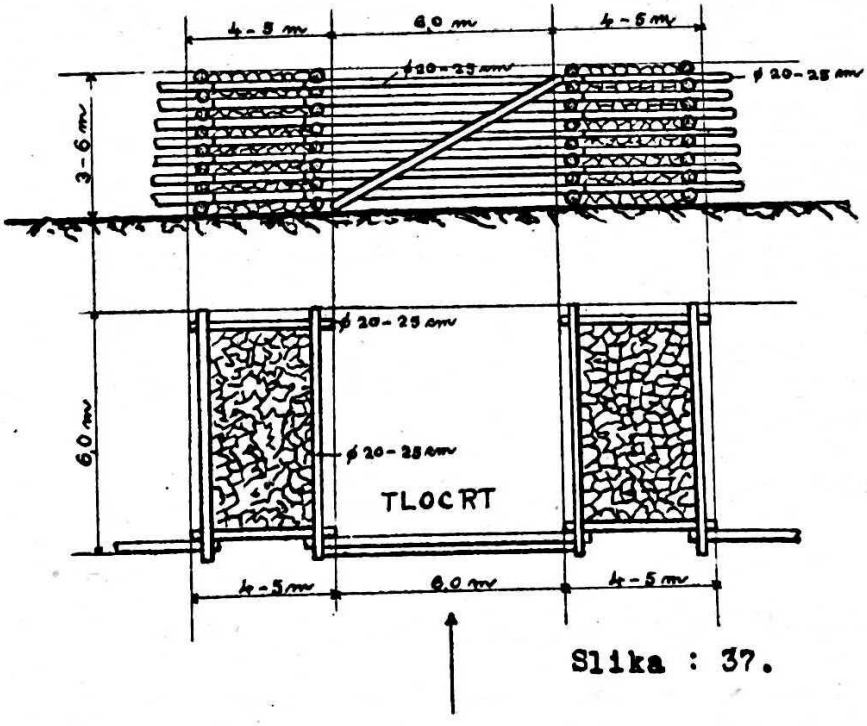


Slika : 35.

provlaće se kroz odgovarajuće rupe, izbušene u vreteništu, a prislanjaju se na donjem kraju na podnožni oslonac σ . Vretena se naravno uklone, kad plavljenje miruje, ili kad treba velikoj vodi stvoriti što prostraniji put. Zbog toga je poslužni most nemi-novan. Analognu konstrukciju stalne drvene hvataljke većih dimenzija, za duboku vodu, prikazana je na slici 36. I u ovom slučaju polažu se vretena vertikalno ili pod nagibom , koji može iznositi i 60° / koso položena bolje odolijeva pritisku. Vretena presižu vreteništa za cca 1 do 2 m. Izradjuju se iz arišovine ili smrekovine, a dosižu dužine i od 6 do 8 m., već prema visini hvataljke. Naravno o dužini zavisi i njihov promjer,te može iznositi i 25 cm. Slika 37. pokazuje pak konstrukciju hvataljke, većih dimenzija, na litičastom tlu,sa stupovima, izradjenima od oblica u obliku sanduka, zapunjenih kamenjem. Izmjere, u kojima se ovakova hvataljka gradi, označene su na slici. Oblice u stijenama sanduka prosto su unakrst položene jedna povrh druge, te povezane medjusobno samo sa drvenim klincima / čavlima /. Na Na odvojen način



Slika : 36.



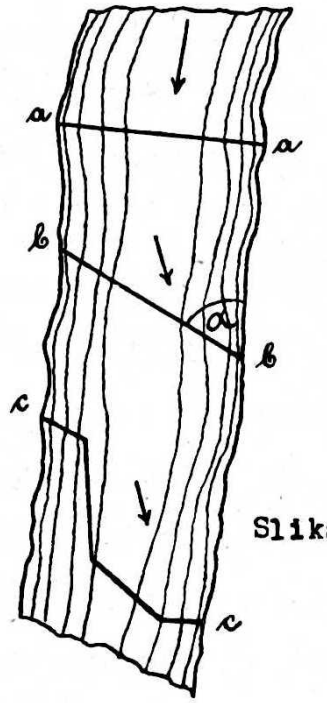
Slika : 37.

izradjena su t.zv. vrata takove hvataljke.Namjesto vretena služe horizontalno položene oblice,jednakog promjera sa onima u sanducima. Počivaju na produženim krajevima oblica stijena sanduka,te su pribite o nje samo sa drvenim čavlima. Sanduci napunjeni su naravno vrhom, te na gornjoj površini taracani kamenom. Služe ujedno i kao uporišta za poslužni most. Iako znatno suzuju profil vodotoka,ovake hvataljke podižu se u zgodnim prilikama rado. Ne smeta im obilje obluća i šljunka u vodotoku; ne trebaju naročitog temelja; grade se,obnavljaju pa uzdržavaju jeftino i brzo,a rukovanje s njima je jednostavno i lagodno.Izgradjena je takova hvataljka i preko 300 m. dugačka, sa 20 sanduka i 19 vrata.

Najsolidnije izgradjene hvataljke upiru se o zidane stupove i zidane obalne upornjake. Kod manjih uredjaja, a i kod većih,na mjestima manjeg pritiska / opterećenja od struje i prometa /, otvori medju stupovima i upornjacima pregradjeni su sa drvenim vretenima,na drvenom vreteništu i drvenim osloncima. Snažnom pritisku izloženi otvori većih stalnih uredjaja pregradjeni su redovno pokretljivom željeznom rešetkastom konstrukcijom,koja vrši funkciju vretena.

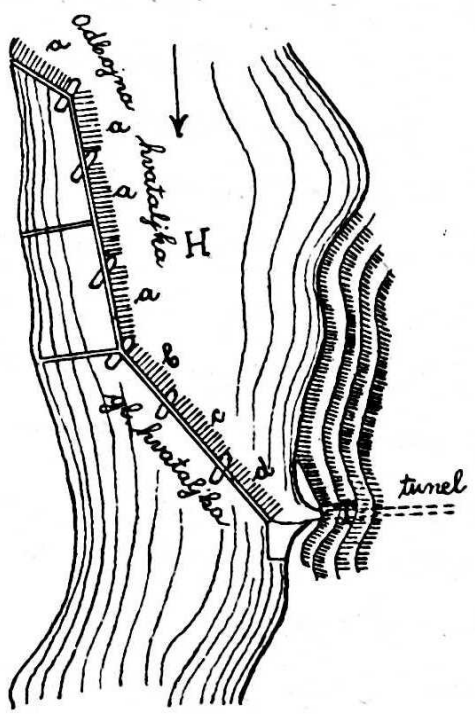
Takova veća stabilna hvataljka na pr. podignuta je god.1895. na rijeci Maltsch u Plabenu kraj Budjejovica u Češkoj. Odabran je u tu svrhu prirodan tijesnac, s desne strane omedjašen sa strmom,oca 30 m. visokom liticom. Rijeka Maltsch,udarajući o tu liticu,lomi se, i mijenja smjer gotovo pod pravim kutem iza nje. Za desni upornjak hvataljke odabrana je ta litica. Drugi upornjak na lijevoj obali,pa još jedan stup u sredini rijeke, izgradjen je pak od kamena tako, da svijetli otvori medju njima mjere po 18 m. Desni otvor, izložen najvećem pritisku struje i prometa, premošten je iznad najvećeg vodostaja sa jakim željeznim nosačima. Na jednom od ovih vise četvera vrata, jedna do drugih, željezne rešetkaste gradje, a mogu se okretati oko horizontalnih osovina na gornjem svom rubu, kad se spomoću ručnih strojeva i lanaca dižu, da otvore,ili opet spuštaju, da zatvore otvor. Spuštena četvera vrata, zatvarajući oijeli desni otvor, dobro zadržavaju priplavljeno drvo,već zbog velike

vlastite težine. Za veću sigurnost ipak razapne se još jaki lanac iza spuštenih vratiju uzdonji njihov kraj od obalnog upornjaka pa do stupa u rijeci. Lijevi otvor, izvrgnut malenom pritisku, zatvaraju tek drvena vretena.- Kad plavljenje miruje, naravno, vrata su stalno otvorena, a vretena uklonjena. Hvataljke, dosad opisanih konstrukcija, presijecaju vodotok u pravcu, pod pravim / $a-a$, sl.12/ ili pod šiljatim kutem / $b-b$ / . No vrlo često je hvataljka i poligonalnog oblika tako, da sa obalom zajedno hvata drvo poput vreće / $c-c$ sl.12 /. Okomito sijeće hvataljka redovno vodotok malog pada, u kojem se vodostaj ne mijenja naglo i nenadano barem za vrijeme plavljenja. Ovako položena hvataljka izložena je najvećem pritisku vode i prometa; zbog toga treba da je konstruirana najsnažnije. Nije zgodna za daljnju manipulaciju, jer se drvo gomila u kineti, u sredini vodotoka. Manje je izložena pritisku hvataljka, položena koso preko vodotoka. Goni drvo k obali, koju sijeće pod šiljatim kutem, odakle se drvo lakše vadi s pomoću dizala, ili otprema dalje s pomoću istovarnog kanala i t.d.



Slika: 38.

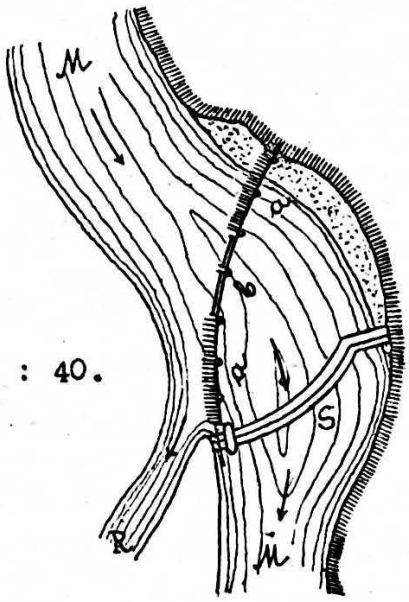
Pritisak prometa najveći je u šiljatom kutu, pa je potrebno utvrditi i obalu na tom mjestu. Na suprotnom kraju, a djelomično i u srednjem dijelu takova je hvataljka prosta od drvlja, zbog toga bolje propušta vodu. Može biti konstruirana nješto slabije, no zato je duža od prve. Najčešći oblik hvataljke je poligonalan, jer je za postignuće svrhe, pa prema prilikama vodotoka i obala redovno najzgodniji. Uz takav oblik, hvataljka nema isto značenje na cijelom potezu. U najvećem dijelu ima karakter tek odbojne naprave, a manjem tek dijelu karakter prave hvataljke. Slika 39. predočuje skicu hvataljke poligonalnog oblika, podignutu na rijeci Ilz, pritoka Dunava ,



Slika : 39.

kod grada Passau u Njemačkoj. Vretena u otvorima *a* očito su kud i kamo manje naprezana od vretena *b* , *c* i *d* , jer zapravo skreću tek promet, prema podzemnom kanalu T / tunel /, kojim se otprema doplavljeno drvo dalje. Ta vretena zajedno sa suprotnom obalom omedjašuju tek hvatalište H ,riječni prostor, u kome se sabire doplavljeno drvo. Najvećem pritisku izložena su vretena u otvorima *b*, *c* i *d* , prema kojima je upravljen smjer transporta, da se drvo, koncentrisano oko otvora istovarnog podzemnog kanala, lako i brzo otprema dalje. Prema tome može biti konstrukcija hvataljka u otvorima *a* lakša, od one u otvorima *b* , *c* i *d* . Zbog povezanosti tih dijelova ali, pa zbog njihovog položaja u matici vodotoka, uistinu malo se razlikuju konstrukcije hvataljka u tim otvorima. U ovom slučaju može se doduše preveliko gomilanje drva spriječiti, dakle pritisak ublažiti,da se drvo odmah i što efikasnije otprema dalje. Tome pogoduje i okolnost, što daljnje otpremanje kanalom ne iziskuje promjenu načina transporta. Općenito ali nagli porast vodostaja i s njim spojeno naglo gomilanje drvlja može biti od katastrofalnih posljedica ne samo za hvataljku, pa za doplavljeno drvo nego i za interese nižih obaloposjednika, nijesu li se i za taj slučaj poduzele ili izvele potrebne mjere sigurnosti / pomoćne hvataljke / .

Zbog toga, nijesu li prilike naročito povoljne, općenito nerado se stavlja glavno hvatalište i glavna hvataljka u samu maticu naročito većeg vodotoka. Kod uredjaja,skiciranog na pr. na slici 40, postavljena je u matici vodotoka *M* , samo drvena odbojna naprava

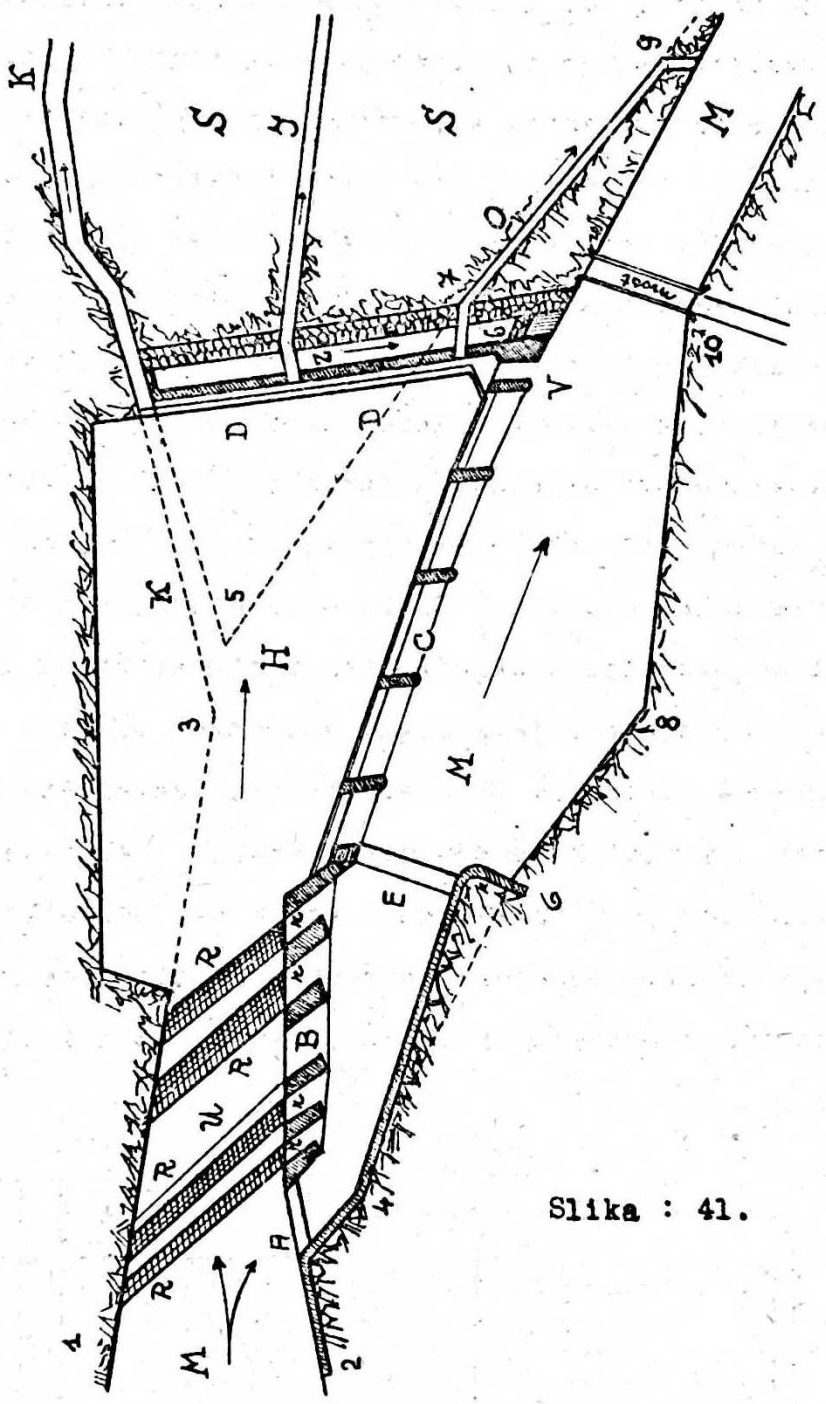


Slika : 40.

a, b, a, koja je na potezima a providjena sa vretenima, a na potezu b samo sa odbojnim plivajućim balvanima, koji se lako otstrane po potrebi. Glavna hvataljka i hvatalište smješteno je u rukavu vodotoka R . Da je pak taj rukav dovoljno snabdjeven sa vodom i kod malog vodostaja, podignuta je ispod odbojne naprave u matici vodotoka splavnica S . Ta splavnica smanjuje pritisak na odbojnu napravu, jer usporuje vodu, dakle i njezinu brzinu. Djelomično otvorena, kod povišenog vodostaja, još uvijek podržaje vodostaj u rukavu, primjeren potrebama plavljenja. Potpuno otvorena pak, kod velikog vodostaja, odvodi najveći dio velike vode maticom, bez štete za hvataljku i hvatalište u rukavu. Velika voda konačno još pročisti maticu od nanosa i taloga, koji se je prije staložio iznad splavnice, dok je zatvorena bila.

Ima i obrnutih uredjaja : U matici se nalazi hvatalište i glavna hvataljka, a kroz rukav propušta se suvišna voda spomoću splavnice. Pred splavnicom na početku rukava nalazi se naravno i odbojna naprava.-

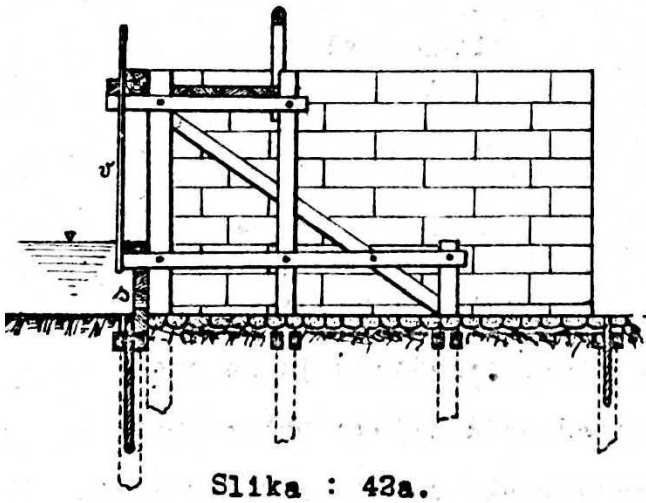
Općenito može se kazati, koliko ima hvatališta i hvataljki, toliko ima i različitih uredjaja, jer zavise vrlo o konkretnim prilikama vodotoka, pa o opsegu plavljenja uopće. U najviše slučajeva spojena je izgradnja hvataljki i hvatališta sa napravami za usporenje vode. Čini se to iz tri već spomenuta glavna razloga : da se ublaži pritisak na hvataljke, podržaje vodostaj na potrebnoj visini i čitav uredjaj što bolje osigura od velike vode. U tu svrhu potrebne su ali opet naprave i uredjaji, pa prelnake na dosad opisanim konstrukcijama, koji se tipično ponavljaju. Zbog toga želimo se dotaknuti i ovih u glavnim crtama na slijedećem primjeru.



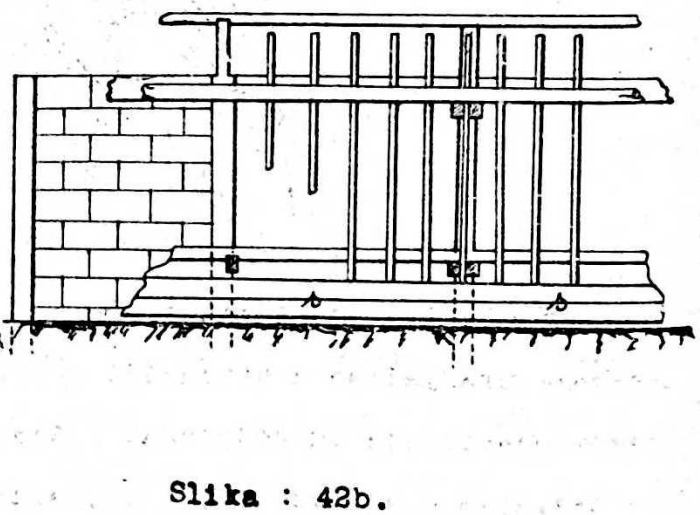
Slika : 41.

Slika 41. predočuje skicu njekog hvatališta sa svim još potrebnim uredjajima u situaciji. Hvatalište smješteno je na proširenom mjestu njekog vodotoka. Prije uredjenja lijeva obala vodotoka tekla je u smjeru 1,3,5,7,9, a desna obala u smjeru 2,4,6,8,10. Od lijeve obale / 3,5 / odvajao se rukav, kanal K , koji poslije opet ulazi u vodotok. Služio je obalopsjednicima u gospodarske i obrtne svrhe. Prostor S , izmedju matice vodotoka M i kanala K , dolazio je dobrim dijelom pod vodu za vrijeme visokih vodostaja .

Preostali dijelovi obala, dovoljno otporni i u povoljnom stanju, pretežno su nadvisivali visoki vodostaj. Mjesto je odabrano, jer je bilo dovoljno veliko i zgodno za smještenje hvatališta i svih s njime spojenih uredjaja; a prostrano,no gospodarski malo vrijedno, inundaciono područje $\mathcal{S}$, s malim troškom moglo se je preurediti u stovarište za doplavljenu robu. Naravno, mjesto je ležalo na prostoru, predvidjenom kao odredištu plavljenja, a odgovaralo je i potrebama preradbe dopremljene robe, pa daljnjeg transporta prema postojećim prilikama i komunikacijama. Najprije je to mjesto podijeljeno u tri dijela. Na normalnu širinu suženi dio M odje
redjen za maticu vodotoka. Preostali dio starog preširokog korita, sa izvjesnim dijelom plitkih obala preuredjen je u hvatalište H, a inundaciono područje u skladalište i stovarište $\mathcal{S}$. Hvatalište omedjašuju : uredjena lijeva obala vodotoka, odbojne naprave B i C, pa glavna hvataljka D. Vodostaj u hvatalištu izdignut je nad vodostaj u matici s pomoću niske stalne / slijepe / brane E, spomoću splavnice A, pa s pomoću stalnih i pokretljivih usporнih uredjaja na svim odbojnim napravama, dotično na glavnoj hvataljci. Odbojne naprave B i C montirane su medju zidane pilove,



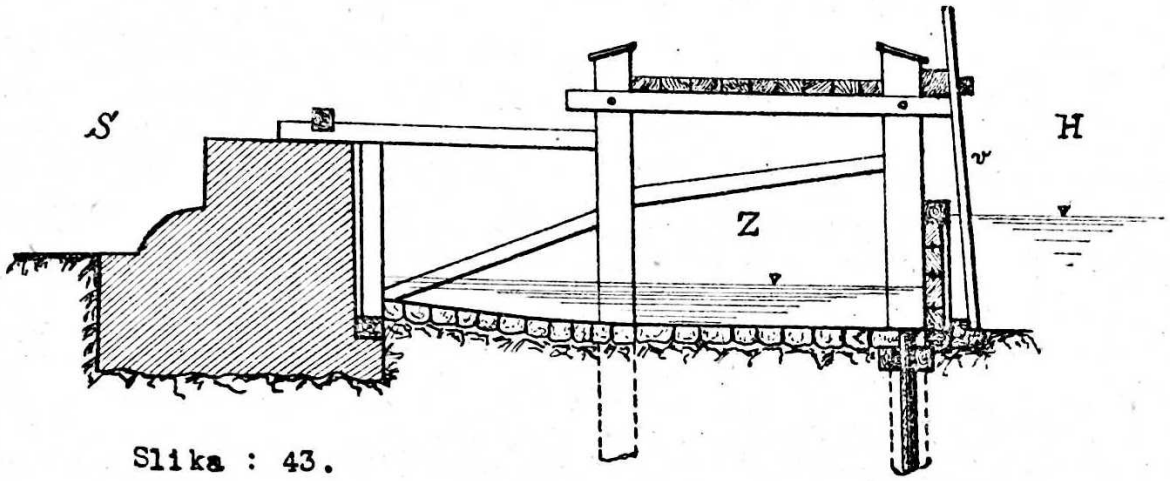
Slika : 42a.



Slika : 42b.

a konstruirane su p.p. na način, predočen na slici 42. Razlikuju se od prije već opisanih po uspornoj stijeni $\mathcal{S}$, koja podržava povišeni vodostaj u hvatalištu. Zbog slijepe brane E, ta je stijena niže na odbojnim napravama B, a viša na odbojnim napravama C.

Poprečan presjek kroz glavnu hvataljku D predoćuje pak slika 43. I ta je providjena sa uspornom stijenom u svom donjem dijelu.Uz mali vodostaj splavnica A potpuno je zatvorena. Sva voda sa pri-

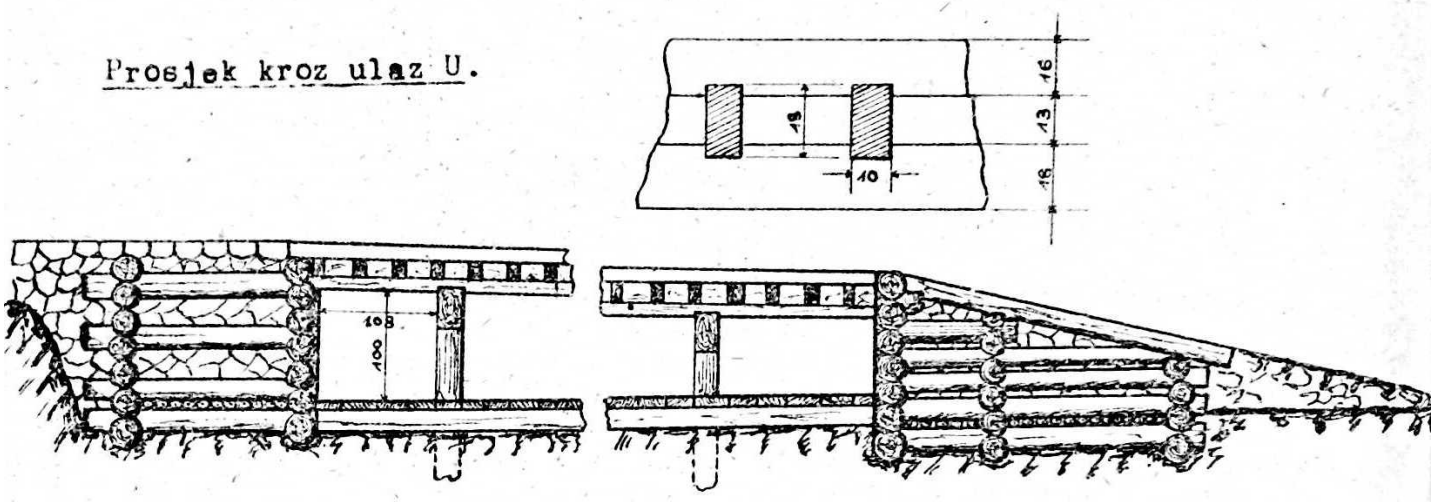


Slika : 43.

plavljenim drvom ulazi kroz ulaz u u hvatalište, naravno, zbog uspora, sa umjerenom brzinom. Iz hvatališta odilazi voda u kanal K pa u istovarni kanal J . Struja nosi dakle drvo upravo na glavnu hvataljku D , odakle se ovo otprema po mogućnosti efikasno s pomoću istovarnog kanala J na skladište. Otvor u kanal K providjen je sa jednom zapornicom, a u kanal J sa dvjema zapornicama,da se može regulirati otok vode po potrebi. Ovako opisano stanje može se podržavati i uz povišeni vodostaj, primjerenim otvaranjem ispusta na splavnici A ,t.j. djelomičnim otpuštanjem suvišne vode u maticu. Kod visokog vodostaja otvore se svi ispusti na splavnici A ,a još suvišna voda iz hvatališta odvodi se u maticu otpadnim kanalom O ,pa kroz vrata V . Voda pak, u koliko se prelijeva preko uspornih stijena, ulazi u maticu kod odbojnih naprava B i C neposredno,a kod glavne hvataljke D iz kanala Z u kanale J i O , dotično preko masivne brane b posredno. Otpadni kanal O , providjen takodjer sa dvije zapornice, pa vrata V služe ujedno za ispražnjenje hvatališta, u vrijeme čišćenja. Zbog slijepe brane E , a još više uz zatvorenu splavnicu A , uspor vode počinje daleko pred ulazom u . Na tom potezu taloži se najveći dio vodotočnog nanosa, jer se u njem mijenja brzina vode. Taj talog

potrebno je otstraniti od vremena do vremena, da ne zakrći ulaz u hvatalište. Taj posao automatski izvršuju rešetkami prekriti, u dno upušteni otpadni kanali $\mathcal{R}$ / slika 41 /. Ti kanali naime, normalno zatvoreni zapornicama / $\mathcal{N}$ / kod odbojnih naprava /$\mathcal{B}$ sl.41 /, hvataju nanos. U tu svrhu su konstruirani na način predočen na slici 44. Drvene rešetke nad kanalima leže u ravnini dna ulaza .

Prosjek kroz ulaz U.



Slika : 44.

Doplavljeno drvo prelazi preko njih nesmetano, a nanos propada kroz nje u kanale. U vrijeme visokog vodostaja otvore se zapornice $\mathcal{N}$; voda navali velikom silom kroz rešetke u kanale i odnese u njima staloženi nanos u maticu, t.j. potpuno ispere kanale. Da taj nanos odilazi lakše i brže pa što dalje u maticu, popodjeno je podslapište splavnice $\mathcal{A}$ sa oblicama sve do slijepe brane $\mathcal{E}$. Ovakovi otpadni kanali solidnije mogu se izgraditi naravno i od kamenog zidja ili od betona, a rešetka, eventualno i zapornica od željeza.-

No ni na ovaj ili sličan način smješteno i osigurano hvatalište, pa u njemu nagomilano drvo, nije bezuvjetno i u svakom slučaju, zaštićeno od štetnih posljedica velikih voda. Naročito u slučajevima, u kojima je razlika medju skrajnim vodostajima velika , a masa plavljenog drvlja golema. U takovim, pa još i u drugim zgodama upotrebljavaju se <u>pomoćne</u> i <u>rezervne hvataljke</u>. Pomoćne hvataljke ugradjuju se u vodotok iznad / uzvodu / glavnog hvatališta i glavne hvataljke, a rezervne ispod / nizvodu /. Pomoćne hvataljke potrebne su, ako je glavno hvatalište premaleno, a glavna hvataljka

preslaba,da primi svu otpremljenu robu odjednom,naročito kod naglih promjena vodotoka. Upotrebljavaju se ali i onda,kad treba doplavljeno drvo prije nego stigne do glavnog hvatališta sortirati, djelomično istovariti, pa otpremiti dalje na drugi koji način.

Tako na pr. prije opisana stabilna hvataljka na rijeci Maltsch u Plabenu služi kao pomoćna hvataljka za glavno hvatalište i glavnu hvataljku u Budjejovicama. Zadaća hvataljke u Plabenu je : hvatati i zaustavljati svu priplavljenu masu drvlja, a otpuštati na glavnu hvataljku u Budjejovicama tek transporte po 300 šumskih meteri sukcesivno, u jednoličnim vremenskim razmacima; zaštiti grad Budjejovica od šteta, koje bi mogle nastati od naplavljenog drvlja kod visokog vodostaja i konačno spriječiti nasukanje drvlja po obalama u vrijeme velike vode. Dužina gomile zaustavljenog drvlja pred hvataljkom u Plabenu iznosi 3 do 4 km. uzvodu, u vrijeme visokog vodostaja ! Ova pomoćna hvataljka izložena je dakle visokom pritisku, kud i kamo više nego glavna hvataljka u Budjejovicama. Zbog toga je konstruirana solidno i jako, na opisani način. Glavna pak hvataljka u Budjejovicama ugradjena je u usporeni potez iste rijeke, pred izgradjenom već nekom splavnicom u druge svrhe. Zbog tog uspora izložena manjem pritisku, a osigurano još i pomoćnom hvataljkom, izvedena je mnogo lakše i jednostavnije od posljednje. Sastoji od stupišta, svaki sa 4 pilota, od poslužnog mosta, pa od balvana plivača, koji se dižu i spuštaju zajedno sa vodostajem.

Rezervna hvataljka upotrebljava se u slučajevima, u kojima je hvatalište doduše dovoljno veliko, ali hvataljke slabe, pa postoji bojazan, da ne bi mogle podnijeti pritisak naplavljenog drva za vrijeme visokog vodostaja. U tom slučaju otpusti se jedan dio naplavljenog drv-lja odmah do rezervne hvataljke, koja je,kako rekosmo smještena ispod glavne.

Hvatališta i hvataljke treba da su odmjerene naravno prema količini drvlja, koja se plavi. Za jedan prostorni kubični metar naplavljenog drvlja potrebna površina hvataljke mjeri 0,5 do 1,0 m^2 u prosjeku. Svi konstruktivni dijelovi hvataljki treba da su dimenzi-

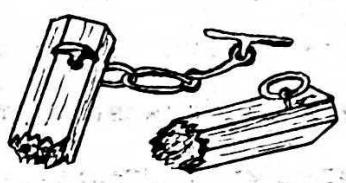
onirani prema pritisku,kome su izloženi.Iscrpljivo obradjeni postupak u tom pogledu nalazi se u Försterovu djelu: das forstliche Transportwesen. Zbog skučenosti prostora detaljno ovdje ne možemo ulaziti u to.

Kompletno uredjenje stalnog hvatališta općenito dakle iziskuje raznovrsne naprave i uredjaje, zavisne o prilikama vodotoka i množini plavljenog drvlja. Osim glavnih hvataljki u pravilu potrebno je podizati odbojne naprave, a prema prilikama još i pomoćne ili rezervne hvataljke. Ima li vodotok pritoke, u kojima se takodjer transportira drvo, bit će možda potrebno smjestiti pomoćne hvataljke na ušća tih pritoka, da se može propuštati drvo tek sukcesivno, u manjim transportima, do glavne hvataljke. Uz veliku množinu drvlja, pa uz veliku razliku ekstremnih vodostaja može da bude potreban i veći broj pomoćnih hvataljki u samom vodotoku, da se postigne dovoljno velika dužina,na koju će se raspodijeliti dopremljena roba, ublažiti navala i pritisak na glavnu hvataljku, smanjiti uspor i povećati profil protjecanja za veliku vodu, pa omogućiti istovar robe i sa više mjesta po potrebi. Zbog pritiska i manipulacije potreban malen nagib, pa odmjerena količina i brzina vode u hvatalištu,zatim snabdjevanje istovarnih kanala sa vodom, iziskuju opet naprave za usporenje vode i regulisanje vodostaja. Bit će možda od potrebe podignuti koju ustavu na zgodnom mjestu ili barem splavnicu, masivnu ili slijepu branu, pa upotrijebiti hvataljke i odbojne naprave u kombinaciji sa branama djelomično ili naskroz pokretljivima, već prema prilikama vodotoka i potrebama prometa. Staloženi nanos od usporene vode, da ne smeta prometu, opet treba povremeno otstranjivati svrsi shodno izgradjenim otpadnim kanalima.

Najsigurnije smješteno je glavno hvatalište u živom ogranku ili rukavu vodotoka. Ne pruža li se takva zgoda, hvataljka neka presjeca vodotok koso u obliku pravca, krivulje, ili u obliku poligona. Siguran prolaz velikih voda na takovim mjestima opet iziskuje gdjekad izvedenje jednog ili više rezervnih kanala, naročito u slučaje-

vima u kojima stupišta, upornjaci, hvataljke, splavnice, doplavljeno drvo i t.d. suzuje glavno korito toliko, da za prolaz velike vode nema dovoljno mjesta. Rezervni kanal,ili više njih,odvajaju se u tom slučaju iznad hvatališta, a ulaze opet u vodotok ispod hvatališta. U tu svrhu dobro mogu poslužiti mrtvi rukavi,ogranci ili napuštena korita vodotoka. Dimenzije i konstrukcije naprava, koje dolaze u obzir, zavise naravno o veličini čitavog uredjaja, o prilikama vodotoka i prometa.Glavne izmjere najvažnijih dijelova hvatališta i hvataljki svakako neka nijesu odmjerene tijesnogrudno, nego obilno uz dovoljan koeficijenat sigurnosti prema predvidljivoj potrebi. Upotrebljeni gradjevni materijal neka je trajan i solidan / željezo, kamen, beton i drvo /.

Ima i zgoda, u kojima vodotok presijeca jezero. Potrebno je u takovom slučaju prevesti doplav-ljeno drvo s jednog kraja na drugi, na vještački način, na najzgodnijem putu, sa što manje gubitka. U tu svrhu podigne se na ušću vodotoka hvataljka, koja će u primjereno odmjerenom hvatalištu sabrati i držati na okupu priplavljeno drvo, pa štititi ga od udaraca valova. Budući se nalaze te hvataljke u relativno mirnoj vodi, grade se lako.Odabiru se u tu svrhu jednostavne konstrukcije, obično vretena poduprta tronozima / slika 34 /, ili plivajuće vreteništе / sl.33 /, pa balvani-plivači pomično ovješeni na pilote/ sl.32 /. Za otpremu drva preko jezera služi pak veliki obruč, složen od dugih balvana, povezanih medju - sobno željeznim lancima. Ti balvani su 8 do 14 m. dugačke, 15 do 20 cm. u promjeru jake oblice. Na kraju su šestero ili osmerobridno obdjelane, pa okovane sa 0,5 do 1,0 m. dugačkim lancem,dotično sa karikom tako, da se lako spoje, ili odriješe jedna od druge, kad treba / sl. 45 /. Sa više ovako povezana balvana, koji plivaju na vodi, opkoli se otvor hvatališta u obliku luka. Iz hvatališta otpusti se jedan dio priplavljenog drva,da ispuni prostor



Slika : 45.

omedjašen sa tim lukom. Po tom se otvor hvataljke zatvori, a luk stegne u obruč tako, da je otpušteno drvo opkoljeno sa balvanima sa sviju strana. U najzgodnijem smjeru transporta prema drugom kraju jezera, u primjerenim razmacima, nalaze se zabijene pilote, koje strše izvan vode. Drvo u zatvorenom obruču prevozi pak tegljarica / čamac / s pomoću žičnog užeta, koje je učvršćeno na obruč sa jednim krajem, a sa drugim omotano je oko vitla, nepomično montiranog u čamcu. Tegljarica se usidri o najbližu pilotu, a radnici u njoj okreću vitao i namataju žično uže. Na taj način potežu i obruč sa drvom do usidrenog čamca. Potom radnici odriješe čamac i primaknu ga do slijedeće pilote, svedjer odmotajući uže. Stigavši do ove, učvrste čamac o nju, pa primaknu obruč do čamca opet namatajući uže. Opetujući taj postupak, prebace konačno obruč sa drvom sa jednog kraja na drugi. Uspješno se radi tako na mirnoj vodi. Nevrijeme i valovi lako razriješe obruč, pa raštrkaju drvo. Zbog toga češće se tovari drvo iz hvatališta i neposredno u ladje, 25 do 30 m. dugačke, 4,0 m. široke, a 1,0 m. duboke, te na njima prevozi.

6. Dotjerivanje uredjaja za plavljenje u najnovije doba.

Općenito nastojanje u racionaliziranju rada, koje se osjeća na svakom području ljudskog stvaranja u novije doba / naročito poslije svjetskog rata /, nije mimoišlo ni ovo sretstvo transporta. To se već vidi iz prije opisanih uredjaja za plavljenje, pa za preradbu drvu na potoku Steyrlingu. Ti uredjaji,prema sličnim predratnim uredjajima, znače velik napredak. S pomoću tih uredjaja voda naime nije najekonomičnije iskorišćena samo kao sretstvo transporta - analogno kao kod manje ekonomičnih uredjenih predratnih uredjaja - nego istodobno i kao sredstvo za preradbu drva. Još korak dalje pošlo se je god. 1928 - 1929 kod uredjaja za otpremu drva plavljenjem iz sjedinjenih šuma Frein - Mürzsteg na rijećici

Mürz i njezinim pritocima u Austriji. Sve što je postignuto na uredjajima za plavljenje na potoku Steyrlingu ovdje je još po mogućnosti dotjerano i usavršeno, a osim toga voda iskorišćena je istodobno i kao sredstvo za sortiranje dopremljene robe tako, da su troškovi transporta, sortiranja i preradbe drva sniženi doista na minimum. Zbog toga je i vrijedno, da se ti uredjaji opišu podrobnije.

Riječica Mürz, pritok Mure, počinje na granici Donje Austrije i Štajerske kod sastavka Stille i Kalte Mürz, koje izviru u austrijskim vapnenim alpama. Nedaleko od spomenute granice utječe u riječicu Mürz i potok Frein, kod istoimenog mjesta, a ispod ovoga leže na istoj riječici mjesto Mürzsteg i dalje nizvodu mjesto Krampen, pa još nješto niže mjesto Neuberg. Drvo posječeno u rečenim šumama otprema se riječicom Mürz i njezinim pritocima do hvatališta u Krampenu, a odavle do stovarišta u Neubergu, gdje se drvo sortira i preradjuje za daljnju upotrebu. Najudaljenije šume leže cca 30 km. daleko od hvatališta u Krampenu. U pojedinostima uredjaji za plavljenje izvedeni su pak ovako :

Iz najudaljenijih šuma otprema se drvo u regulirani potok Frein s pomoću 640 m. dugačkog vodenog točila, koje se na gornjem kraju još razgranjuje u dva ogranka, u 1000 m. dugačko vodeno točilo u dolini Taschl i u 400 m. dugačko takovo točilo u dolini Brunnthal. Vodeno točilo u dolini Taschl snabdjeva se sa vodom iz vodospremišta ustave, podignute u 4 do 6 m. širokom tijesnacu Taschl. Ustava je izradjena u obliku 10 m. visoke drvene stijene složene od balvana / Krainerwand /, poduprte stupovima i uporama, koje se upiru o litičastu obalu. Dolina iznad tijesnaca naglo se proširuje. Zbog toga je postignut razmjerno velik retencioni prostor, obilno vodospremište. Vodeno točilo silazi sa vrha ustave najprije sa velikim padom, od 20 %, pa prelazi poslije u vodeno točilo normalnog nagiba. Prelaz iz jednog nagiba u drugi prekinut je opet sa ustavom i vodospremištem. Ova prekidna ustava, podignuta na prijedlog šumara Schaubergera, znači napredak u dotjerivanju uredjaja

za plavljenje. S njom je postignuto ne samo regulisanje brzine prometa, nego i ekonomično upravljanje sa raspoloživom zalihom vode. Djeluje poput kočnice, jer se u njezinom vodospremištu smanji prevelika brzina drvlja, nadošlog sa gornjeg poteza, a omogućuje opet otpuštanje vode u donji potez, primjereno prema nagibu tog točila. Nema sumnje, potreba točila na vodi,na potezima raznog nagiba, je različita i to s tim različitija, što je diferencija u nagibu veća.

Potok Frein, ispod ušća točila, uredjen je u svrhu plavljenja na ovaj način. Preveliki pad ublažen je s pomoću stepenica, izgradjenih u obliku drvenih pragova. Obale su pak obložene sa stijenama od oblica po potrebi. Ovako regulirano korito pogoduje plavljenju vrlo dobro. No poznate deformacije kod bujica, obuzdanih na ovaj način,nijesu izostale ni ovdje. Ispod i iznad pragova nastale su jame, a zbog ovih podlokane su i obalne stijene tako, da obnavljanje i uzdržavanje tih naprava za cijelo nije skopčano sa malim troškom.

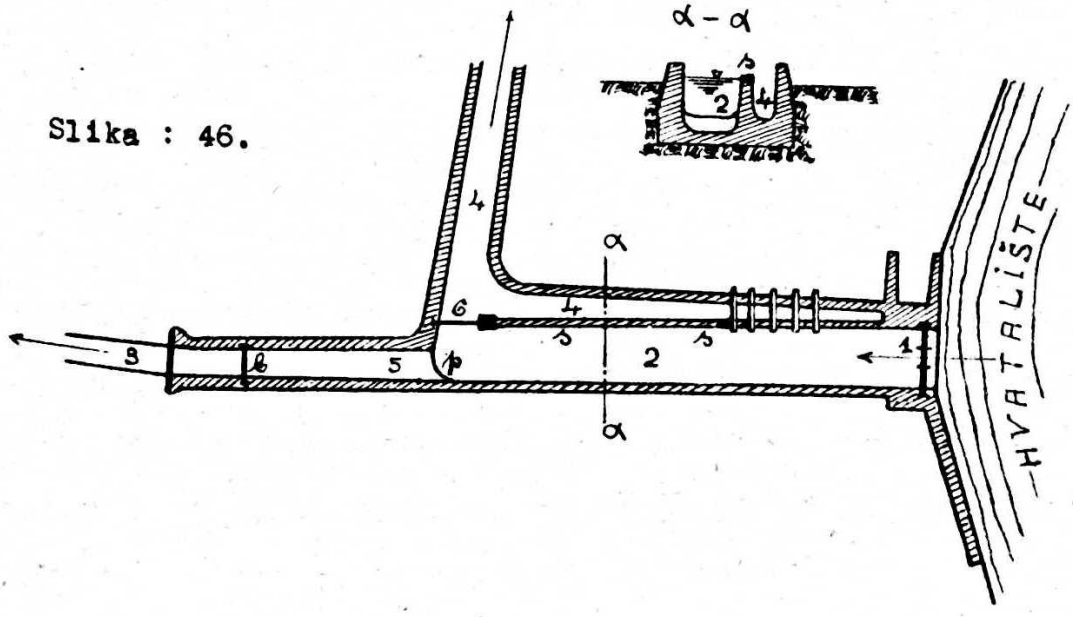
Zajedno sa tim potokom ulazi doplavljeno drvo u riječicu Mürz, s kojom dalje plovi njeko 16 km. daleko, sve do hvatališta u Krampenu. U tu svrhu obnovljeno je uredjenje te riječice, a najznatnija naprava na njoj je novo podignuta brana, nedaleko ispod ušća potoka Frein. Brana upravlja se vodom Mürze tako, da se plavljenje odvija uz normalan vodostaj posve bezprijekorno, a omogućeno i olakšano je plavljenje i uz malen vodostaj, u vrijeme suše . Brana je izvedena dijelom od betona, dijelom od drva, kamenja i željeza.Ima dva glavna ispusta u gornjem svom dijelu, jedan je širok 12 m., a drugi 9 m. Donji rub desnog ispusta položen je nješto više / oca 70 cm./ od donjeg ruba lijevog ispusta, jer ovaj služi ujedno i kao prelijev,tako da prvi ispust zatvaraju 1,3 m. visoke, a drugi 2,0 m. visoke zapornice, ovješene na željezne nosače / poslužni most /,providjene sa valjcima, pa izbalansirane sa utezima, da se što lakše dižu i spuštaju. Ta dva glavna gornja ispusta omedjašena su po stranama sa betonskim obalnim upornjacima, pa sa betonskim pilovom, podignutim u koritu riječice. Donji dio brane, izmedju upornjaka i pilova,a ispod glavnih ispusta,sačinjavaju dr-

vene komore, ispunjene kamenjem, pa u vrhu na gusto popodjene sa oblicama. Kroz komore u desnom polju prolaze u dnu još dva manja propusta, dva drvena kanala, providjena sa zapornicama, a služe za podržavanje vodostaja na potrebnoj visini u dijelu riječice ispod brane, pa za sniženje vodostaja usporene vode iznad brane. U lijevom polju donji dio brane naskroz je masivan, a kako preko njega prelazi prelijevna voda, produžene su komore tog polja, u obliku kaskada, primjerno daleko u korito ispod brane. U vrhu lijevog upornjaka nalazi se još jedan otvor, providjen sa zapornicom, na koji se priključuje betonski kanal, vodeno točilo, za propuštanje priplavljenog drvlja iz gornje vode u donju. Na ovaj način adjustirana brana omogućuje upravljanje plavljenjem, propuštanje drvlja, pa vode uz razne vodostaje po potrebi precizno tačno. Zbog toga može poslužiti kao uzor u sličnim prilikama.

Najznačajniji dio cijelog uredjaja je posljednje, potez od hvatališta u Krampenu do stovarišta u Neubergu, gdje svršava u duhovito osnovanim napravama za automatsko sortiranje, preradbu dotično daljnju manipulaciju doplavljenog drvlja. Posljednji taj potez dijeli se zaprvo u tri dijela :

Prvi dio odmah na početku je filter i regulator za vodu. Srednji dio sačinjava splavni kanal a završni dio su razne naprave u svrhu sortiranja pa daljnje otpreme drva i vode.

Slika : 46.



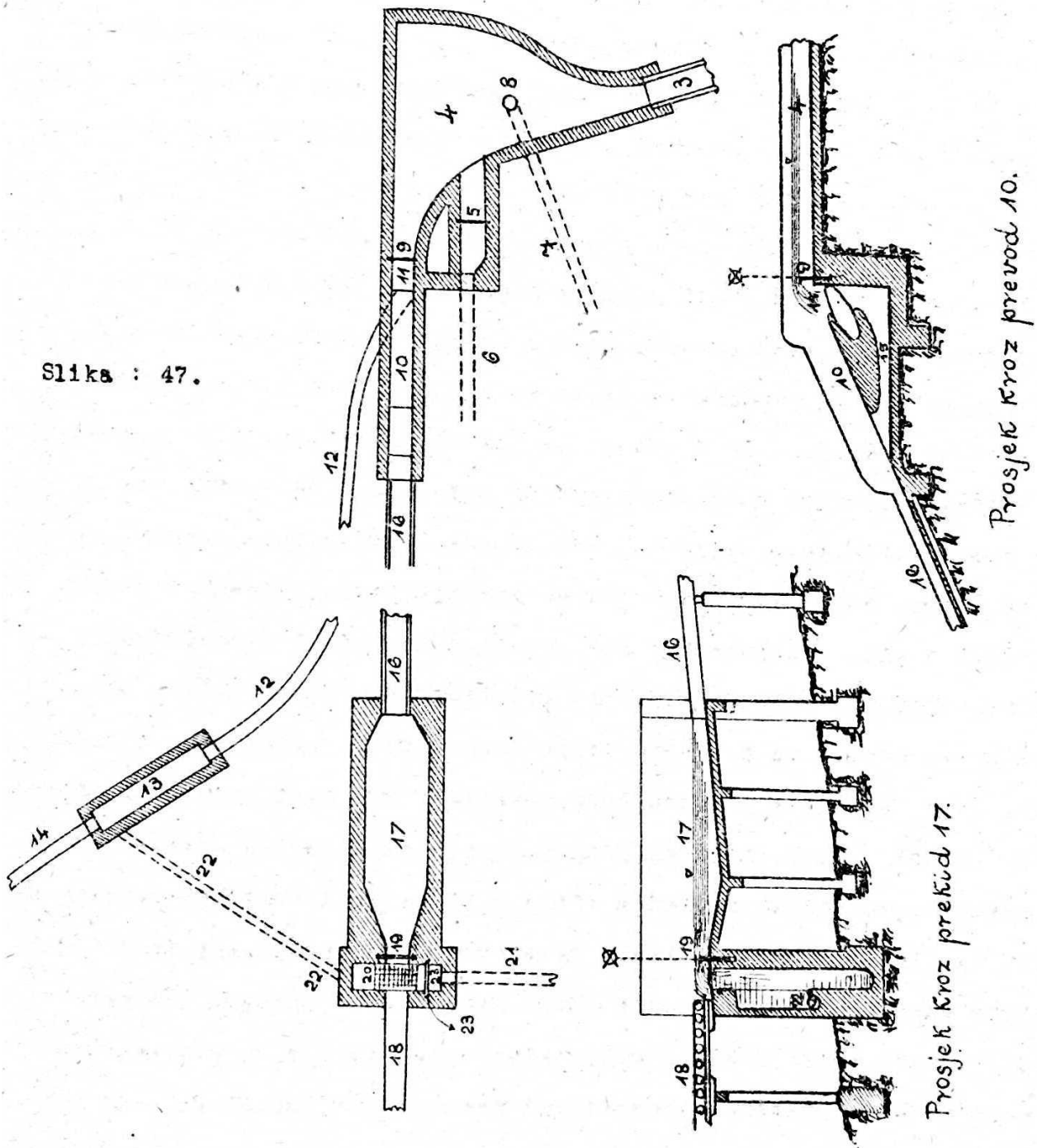
Škicu početnog dijela u situaciji predočuje slika 46. Priključen je neposredno na hvatalište u Krampenu. Voda i drvo propušta se kroz trodijelnu zapornicu / 1 / iz hvatališta u filter i regulator. To je zapravo dvostruki kanal, razdijeljen srednjom stijenom δ, koja je niža od vanjskih stijena / isporedi profil $\alpha - \alpha$ /. Vodostaj u kanalu / 2 / ne može biti viši od stijene /δ / jer se suvišna voda odmah prelijeva preko nje u otpadni kanal / 4 /, s kojim odilazi u Mürzu. Kanal 4 prekrit je sa poprijeko položenim gredicama,u primjernim razmacima, da ne propada u nj i doplavljeno drvo zajedno sa vodom. Dno kanala / 5 / leži za stepenicu /p / više od dna kanala / 2 /. Zbog toga djeluje kanal / 2 / poput filtera t.j. u njemu se sabire staloženi vodotočni nanos, a tek čista voda odilazi dalje kroz kanal / 5 / preko pomične slijepe brane /b / u splavni kanal / 3 /. Spuštanjem, dotično dizanjem slijepe brane /b/ može se regulisati prolaz vode u splavni kanal / 3 / po potrebi, a može se taj prolaz i potpuno zatvoriti. Kanal / 2 / čisti se od staloženog nanosa s pomoću zapornice / 6 /. Budući se kroz taj ispust propušta takodjer i suvišna voda kod većih vodostaja, otvor tog ispusta pred zapornicom providjen je sa vretenima, da se spriječi prolaz plavljenom drvlju. Izmedju vretena ima dovoljno mjesta za talog,mulj, pijesak i šljunak, koga voda pokupi sa dna kanala / 2 / i odnosi sa sobom u otpadni kanal / 4 /. U ostalom vretena se mogu i ukloniti po potrebi.

Srednji dio, splavni kanal / 3 /, počinje 5 m. iza slijepe brane /b /. Dugačak je 2089 m., nagib mu mjeri 0,5 ‰ a svršava u vodospremi završnog dijela. To je zapravo vodeno točilo, polukružnog profila, izradjeno iz drvenih dužica, / patent Öhrag, isporedi vodena točila sl.53 /. Na zgodnom mjestu, 1,2 km. daleko od početka, providjeno je sa ispustom, s kojim se regulira vodostaj u njemu po potrebi. U glavnom ipak potreban je taj ispust, da se otpusti voda, pa isprazni točilo u izvjesnim prilikama. Kad pogon miruje, na pr. za vrijeme podnevne pauze, otvori se taj otvor, otpusti voda i na taj način spriječi gomilanje drva na jednom mjestu, dotično preli-

jev vode preko rubova točila.

Skicu završnog dijela predočuje slika 47. Splavni kanal / 3 / ulazi u vodospremište / 4 /. Vodostaj se u toj vodospremi udešava s pomoću zapornice / 5 /, a suvišna voda otprema se kroz otpadni kanal / 6 /. Na ovaj način može se isprazniti vodosprema i

Slika : 47.



potpuno. Jedan dio vode iz vodospreme otprema se tlačnim cijevovodom / 7 / preko rešetke / 8 /, ugradjene u dnu, do turbina električne centrale, koja daje efekat od 100 - 120 KS uz tlačnu visinu

od 15 m. Sakupljeno drvo u vodospremi propušta se kroz zapornicu / 9 / u prevod / 10 /. Ta naprava služi za automatsko sortiranje drva. Neposredno iza zapornice / 9 / nalazi se otvor u dnu / 11 /, preko kojega prolazi dugo drvo, dok kratko / gorivo / drvo propada u rov., koji se nalazi ispod otvora, a iz ovoga u točilo / 12 /, s kojim putuje dalje. Točilo za ogrijevno drvo / 12 / izradjeno je u pravcu iz drva, a u krivulji iz željezobetona. Pada sa velikim nagibom od 20 %, te svršava u prekidu / 13 /, jer njegov nastavak kanal / 14 /, koji vodi do stovarišta, pada samo sa nagibom od 0,7‰. Prekid / 13 / je pak naprava, kojoj je svrha ublažiti loše posljedice ovako velikog loma u nagibu.

Jedan dio vode, koji propada u rov / 11 / prevoda / 10 /, prolazi kanalom / 15, vidi prosjek kroz prevoz 10 / u točilo za dugo drvo / 16 /, koje svršava opet u prekidnoj napravi / 17 /. Ovo točilo / 16 / izvedeno je naime sa velikim prosječnim nagibom od 23 %. U prekidu / 17 / smanji se brzina doplavljenog drva, koje se dalje otprema s pomoću transportera / 18 / na stovarište . Taj prekid nije nego oveća željezobetonska vodosprema, providjena sa zapornicom / 19 /, s kojom se stavlja razina vode u njoj na potrebnu visinu / isporedi i prosjek kroz prekid 17 /. Neposredno iza te zapornice / 19 / nalazi se rešetka u dnu / 20 /. Voda padajući preko zapornice primakne trupac iz prekida / 17 / na transporter / 18 /, samo pak propada kroz rešetku u rov ispod nje, a iz ovoga u kanal / 21 /, koji se poslije spaja sa otpadnim kanalom /6/. Iz istoga rova izlazi i tlačna cijev / 22 /, koja spaja vodospreme obaju prekida / 17 i 13 / tako, da su vodostaji u njima u istoj razini po zakonu spojenih posuda. Zapornica / 23 / zatvara i otvara naime otpadni kanal / 21 /, a namještena je tako, da u vrijeme pogona vodostaj u prekidu za ogrijevno drvo /13/ mjeri 25 cm. nad dnom.

Transporter počiva na drvenim nosačima, a ovi na 30 željezobetonskih stupova-okvira, smještenih u jednakim razmacima od 6 m . Dugačak je 178 m., montiran je na valjcima, a pokreće ga električ-

na struja. Drvo zahvaćeno od transportera giba se zajedno s njime sa brzinom od 1 m/sec . Skida se zgodnim orudjem i slaže obostrano transportera na stovarištu po principu istovarivanja s gora na dolje.

Drvo za ogrijev, koje dolazi sa velikom brzinom iz točila / 12 / u prekid / 13 /, ovdje se usporuje, pa propušta u 40 cm. široki, 265 m. dugački željezobetonski istovarni kanal / 14 /, nagiba 0,7 ‰, koji obilazi cijelo stovarište. Drvo se može hvatati pa izvaditi iz ovog kanala na svakom mjestu, jer pliva u njemu samo sa brzinom od 1 m/sec. Voda pak iz ovog kanala odvodi se još i dalje, u naročitim tlačnim cijevima,do nedaleke pilane, pa upotrebljava za pogon strojeva u njoj.

Cijeli posljednji potez od hvatališta u Krampenu do stovarišta u Neubergu stavlja se pak u pogon na ovaj način. Njeko 40 minuta prije započetka rada stavi se vodostaj u filteru i regulatoru kod hvatališta u Krampenu na potrebnu visinu s pomoću trodijelne zapornice / 1, sl. 46 / u normalnim prilikama, a još i s pomoću zapornice /6 / otpadnog kanala / 4 / u vrijeme većih vodostaja Mürze tako, da voda tek lako prelijeva razdijelnu stijenu / 5 / u filteru. Kad je to postignuto, propusti se drvo u filter / 2 /, a odavle preko dovoljno duboko spuštene slijepe brane / 6 / u splavni kanal / 3 /. U ovom kanalu putuje drvo sa brzinom od 0,9 do 1,2 m/sec; dugo i teško brže, a kratko i lako sporije. Budući da se istodobno otpremaju redovno razni sortimenti, da ne nastaju smetnje u prometu zbog različite brzine, smješteni su duž filtera i splavnog kanala radnici u primjerenim razmacima, koji upravljaju drvom i osiguravaju nesmetan tok transporta.

Čim je voda iz splavnog kanala / 3 / prilično napunila vodospremu / 4, sl. 47 /, dizanjem i spuštanjem odgovarajućih zapornica, namjeste se vodostaji u njoj, u prevodu / 10 /, zatim u oba prekida / 13 i 17 / na potrebnu visinu, pa upusti drvo i stavi transporter u gibanje. Time je i dovršeno stavljanje u pogon ovog poteza. Cijela manipulacija traje tek njekoliko minuta, a jednom postavljene zapornice u pravi položaj, ostaju nepomične u tom položaju do svršet-

ka rada.

U kratko ponovljeni put plavljenog drva je pak ovaj : Dugo / tehničko / drvo putuje iz prevoda / 10 / u prekid / 17 /, gdje se usporuje njegova brzina. Prošavši taj prekid zahvati ga transporter i otprema dalje do stovarišta. Transporter leži 4 do 5 m. iznad stovarišta. Na taj način skida se drvo sa transportera i slaže na stovarištu po principu s gora na dolje. Sa skladišta otprema se drvo do obližnje pilane na tračnicama ili se tovari u želježničke vagone u svrhu daljnjeg transporta opet po istom principu. Kratko / ogrijevno / drvo pak propada u prevodu / 10 / u točilo / 12 /, odavle dolazi u prekid / 13 /, iz kojega ulazi sa smanjenom brzinom u istovarni kanal / 14 /. Iz kanala vadi se drvo i baca na 1,5 do 2 m. niže stovarište, ovdje sortira i slaže, ili se pak tovari neposredno iz kanala u želježničke vagone, u svrhu daljnjeg transporta; opet s gora na dolje.

Promet se odvija brzo i lako uz malen manuelan rad sa znat - nim efektom. U jednom danu prometne se 3400 komada / ili 840 m^3 / dugog / tehničkog / drva i po 7000 komada / ili 180 prostornih m./ cjepanica. Kapacitet uredjaja može se još povećati, ako se otprema samo jedan ili samo drugi sortimenat.

Novi elementi ovog uredjaja su : prekidna ustava i prekidna vodosprema, prevod, naprava za prelaz plavljenja u drugi način transporta / transporter /. Odlikuje se pak sa usavršenjem, sa racionalnom upotrebom, rasporedjenjem i prilagodjivanjem svih elemenata i naprava postojećim prilikama i potrebama uopće. Prirodni elementi voda i gravitacija iskorišćeni su do skrajnje granice mogućnosti, a troškovi transporta, sortiranja, preradbe i pretovara drva sniženi su na prije nepolučeni minimum. Ovaj uredjaj dokazuje nadalje očito, da ne može biti govora o zastarjelosti, već nasuprot, da je plavljenje sredstvo transporta, koje se razvija i usavršuje sa duhom vremena uporedc, koje se takmiči sa novijim drugim transportnim sretstvima, dapače ih nadmašuje u efektu i ekonomiji u povoljnim prilikama jednako danas kao nekada.

7./ O d r v u , k o j e s e o t p r e m a p l a v - l j e n j e m .

Općenito se može otpremati svakvrsno drvo i sortimenat, jer je drvo općenito naskroz lakše od vode. No sposobnost u plivanju zavisi u prvom redu o procentualnoj sadržini drva na srži, jer u nju prodire voda malo, teško i polako. Da bude drvo sposobno za plavljenje, srž treba da zaprema 35 postotaka volumena, po stečenom iskustvu u Švedskoj. Zbog toga drvo iz starih šuma ili prašuma pliva najbolje, a iz srednjih i mladih sve slabije. Što je šuma mladja, gubitak od utapljanja je veći. Nastojanje za što većim prirastom smanjuje stvaranje srži i sposobnost drva za ovaj način transporta. Sposobnost u plivanju može se ali povećati na vještački način, koranjem i sušenjem. Oguljeno i od kvrga oslobodjeno drvo slaže se u prozračne složajeve, te izloži suncu i vjetru. Na taj način osuši se donjekle i bijel. Ova naime nikad ne osuši poput srži, a prima i upija vodu opet brzo i lako. Listače plivaju uopće teško, svakako teže od četinjača, a na vještački način postignutu sposobnost plivanja gube brzo i opet brže od črtinjača.

Što je drvo duže, teže se otprema. Isto tako teško se otprema prekratko, pa uopće neravno ili kvrgasto drvo. Najčešće se transportira ogrijevno drvo i trupci za pilane. Ogrijevno drvo otprema se u obliku gotovih cjepanica ili u obliku oblica, koje se preradjuju u cjepanice nakon izvršenog plavljenja. Cjepanice plivaju bolje i lakše od dvaputa dužih oblica. Trupci rijetko premašuju dužinu od 8 metara. Najbolje plivaju 3 do 4 m. dugački trupci. Providjeni su redovno sa obrubom / zarubom, Spronz / da lakše prelaze preko manjih zapreka i neravnosti u koritu vodotoka. Potrebna je prekomjerna dužina, jer se oštećeno čelo / zarub / pili i odbacuje.

Njeki sastavni dijelovi drva tope se u vodi, nastaje izvjesno izluženje prigodom transporta, koje djeluje u glavnom povoljno na kvalitet drva. Izluže se naročito tvari, koje pogoduju uzročnicima raznih bolesti. Voda smanjuje nadalje sadržaj na fosforu, zbog čega dobiva na kvaliteti drvo, iz kojeg će se praviti ugljen.

Plavljeno drvo manje se uteže i manje pršti od neplavljenog. Iz ovih razloga švedsko drvo, u najvećoj česti dopremljeno plavljenjem ili splavarenjem, uživa dobar glas.

S druge strane trpi plavljeno drvo od mehaničkih ozljeda, zadobivenih od udaraca o kamenje, litičaste obale i neravnosti tla. A i orudje, s kojim se upravlja prigodom transporta, ili s kojim se istovaruje, ostavlja tragove na njemu. Kadikad drvo promjeni i boju. Sve te ozljede i promjene tek su površinske naravi i ne utječu na kvalitetu piljene ili rezane robe. Izvjesna količina propada od utapljanja. Što je vodotok dotjeraniji ti su gubitci manji. Veći su u krivuljama, manji u pravcu, najmanji u vještačkom koritu / kanalu, točilu /. Utapljanju pogoduje visoki vodostaj voda, koje nose sa sobom pijesak i šljunak. Taložeći se nanos lako prekrije potonulo drvo. U glavnom šteta od utapljanja ipak nije znatna, a nadoknadjuje ju obilno jeftinoća transporta. Najviše trpi drvo od nestalnosti i kratkotrajnosti povoljnog vodostaja, na nedovoljno uredjenim vodotocima. Zbog toga se dogadja, da posječeno i pripremljeno drvo izgubi na kvaliteti čekajući predugo na povoljan vodostaj. Doplavljeno drvo treba sušiti u zračnim složajevima u svakom slučaju.

8./ Izvršenje plavljenja.

Plavljenje se izvršuje u vrijeme najpovoljnijeg vodostaja, redovno u proljeće. U uredjenim vodotocima, snabdjevenima sa ustavama za vještačko podržavanje vodostaja, pa u vještačkim kanalima sa dovoljno vode, plavi se drvo i tokom cijele godine. U glavnim potezima odvija se taj posao ovako. Najprije se pripremi drvo, obradi u prikladan oblik za plavljenje, te složi u pravilne složajeve na zgodnim mjestima duž obala vodene plavnice. Složajevi počivaju na naročito udešenim podlogama, koje se lako otstranjuju tako, da se drvo ruši samo u vodotok, zbog gravitacije. Prazna vodospremišta iza ustava ispune se takodjer drvom, zatim i prostori u podslapištu, uz najdonje ispuste, u koliko su u tu svrhu prikladni. No slaže se drvo i na obroncima uz vodotok i u većim udaljenostima, pa klizanjem upušta u vodotok poslije, za vrijeme plavljenja, ako na obalama nema

dovoljno prikladnog mjesta za sve pripremljeno drvo. Izvršenje plavljenja skopčano je sa oblasnom dozvolom, kojoj prethodi komisijski izvid i pregledanje vode plavnice na potezu, koji dolazi u obzir . Prigodom izvida obidje komisija, te pregleda korito i obale, pa sve objekte, uredjaje i vještačke naprave, podignute na vodotoku. Sve opažene mane, griješke, nedostatke, potrebne popravne radnje, pa opravdane želje i zahtjeve interesiranih obaloposjednika pobilježi tom zgodom i unese u zapisnik. Oblasna dozvola izdaje se pak uz uvjet, da se prije plavljenja isprave sve opažene griješke i mane, dotično, da se udovolji opravdanim zahtjevima interesiranih obaloposjednika prije i poslije izvršenog plavljenja. Po tom se pristupa popravnim radnjama na objektima, uredjajima i vještačkim napravama; čiščenju korita od otpadaka nastalih kod izradbe drva, od vodotočnog obluća, i od krupnijih sličnih, pa i drugih zapreka. Jednom riječju stavi se vodotok sa svim napravama u spremno stanje. Zatim se zatvore ispusti, a vodospremišta toliko napune sa vodom, koliko je potrebno, da plavljenje može otpočeti. Na mjestima, na kojima plavljenje običaje zapinjati, postavljeni su radnici u primjerenim razmacima, koji otstranjuju zapreke, upravljaju drvom i podržavaju pravilan tok prometa. Otprema se najprije drvo iz dolina najudaljenijih pritoka. Terenske prilike u takovim dolinama redovno su najpovoljnije za plavljenje, a i potrebna voda i vodostaj iscrpi se najbrže. Čim je otpremljeno drvo iz pokrajnih dolina, nastavi se otpremanjem drvlja, pripremljenog uz glavni vodotok i to počevši odozgo prema dolje. Ubacivanjem se stane,čim se opazi, da nestaje vode u vodospremištima, t.j. čim se opazi, da nestaje mogućnosti daljnjeg podržavanja vodostaja na potrebnoj visini. Intenzitet otpremanja i količina otpremljene robe uskladjena je naravno i sa prostorom i napravami, podignutima na vodotoku u svrhu hvatanja i suzdržavanja doplavljene zalihe. Odmah iza ovog glavnog, započinje drugi posao, t.zv. naknadno plavljenje. Kad se naime otprema drvo u većim količinama, ispuni ono gotovo čitavo korito. Drvo u sredini, dotično u kineti vodotoka, giba se brže, prestiže ono izvan kinete i potiskuje ga prema obalama. Nakon glavnog plavljenja

ostaje ležati zbog toga dosta drva, zapelog uz obale. Ovo, kao i potonulo drvo treba potražiti, osloboditi od zapreka, dotično povaditi i otpremiti naknadno. Čim je dakle momčad dovršila ubacivanje za prvo glavno plavljenje, obilazi obale vodotoka, odozgo prema dolje, te oslobadja i odgoni u kinetu po mogućnosti sve na obalama zaostalo drvo. Konačno obidje momčad vodotok još jednom, vadi s pomoću zgodnog splavarskog orudja potonulo drvo, te otprema i ovo. Tom zgodom preradjuje redovno oblice odmah u cjepanice, jer ove plivaju lakše. Često se tako uradi i sa potonulim trupcima, koji se onda naravno mogu upotrijebiti tek kao drvo za ogrijev. Po dovršetku plavljenja komisija ponovno obidje vodotok, te unese u zapisnik sve štete nanešene obaloposjednicima od plavljenja. Ove štete dužan je onaj, koji plavljenje izvršuje, nadoknaditi, kao ispraviti i sve druge štete, zbog kojih je narušeno spremno stanje vodotoka i svih naprava u njemu.

9./ P l a v l j e n j e i t u đ j i i n t e r e s i .

Općenito plavljenje i s njim skopčani uredjaji diraju tudje interese. U prvom redu na vodu, kao javno dobro, ima pravo i ostala interesirana javnost. U obzir dolazi potreba na vodi u svrhu gospodarstva / na pr. u svrhu natapanja, ribogojstva i ribolova / obrta / na pr. mlinarstvo, kožarstvo / industrije, pa u svrhu podizanja ili pogona vodnih električnih centrala. Nadalje, prolazi li vodotok uz privatna zemljišta, izvršenje plavljenja ograničuje uživanje takvog zemljišta. Plavljenje iziskuje, da zaposlena momčad prolazi obalom i po više puta, vidjeli smo malo prije. Potreban je dakle barem slobodan prolaz, ako ne staza, dapače i po koji objekat , nogostup, mostić za pješake i t.d. uz vodotok na obali. Osim toga zaostalo pa izbačeno drvo nanosi često sad veću sad manju štetu i neposredno. Ozlijedjuje obale i kulture na njoj. Prigodom naknadnog plavljenja pak zaposlena momčad oko vadjenja i preradbe potonulog drva, takodjer nanosi štete obaloposjednicima u raznom obliku itd. Medjusobne odnose različitih ovakovih interesa reguliše u glavnim potezima zakonodavstvo naprednih država, zaštićujući druge interese

jednako kao i opravdane interese plavljenja. Tako na pr. za prolaz obalom nužno zemljište, nije potrebno izvlastiti, nego tek opteretiti služnošću. Naravno osim od prolaženja nastale i druge štete treba nadoknaditi zasebno. Jednako dužni su redovno trpjeti obaloposjednici, najamnici ribolova, vlasnici mostova i drugih vodogradjevina, naprave potrebne za plavljenje uz primjerenu otštetu, opet bez izvlastbe. Potrebe plavljenja osigurane su takodjer kod podizanja električnih centrala. Voda se rasporedjuje u jednu i u drugu svrhu na način, koji nanosi jednoj i drugoj strani najmanje štete i t.d. Prigodom novog uredjenja vodotoka u svrhu plavljenja, najbolje je takove odnošaje, u koliko postoje ili u koliko su predvidljivi, srediti oblasnim putem odmah na početku, po mogućnosti u detalje i to - naročito obzirom na štete - jednom za svagda. Mogućnost pak upotrebe vodotoka u svrhu plavljenja, - iako još ne služi, no mogao bi da služi kao voda plavnica, - valja osigurati još za vremena, prigodom postupaka, koji se sprovode za izdanje dozvola iskorišćavanja tog vodotoka u druge koje svrhe. -

10./ Uporedjenje sa ostalim transportsretstvima i zaključak.

Pored plavljenja, kada se radi o izboru transportnog sretstva, najnajčešće dolazi u obzir još cesta / naročito sa motornim prometom / i željeznica. Šumska željeznica ima redovno prednost u prilikama, u kojima se radi o trajnom i gromadnom transportu iz velikih i dalekih šuma, a i kod sličnog transporta iz gole ili oplodne sijeće, pa kod časovitog transporta iza kakove katastrofe. Općenito, željeznica ne zavisi ni o vremenu, ni o godišnjoj dobi. Stalno otvara kraj, kojim prolazi, olakšava gospodarenje sa šumom; otprema pak drvo izdašno i brzo, bez kvalitativnih i kvantitativnih gubitaka. Može poslužiti i u druge svrhe, naročito u krajevima, oskudnim na transportnim sretstvima uopće. Ove prednosti odlučuju gdjekad u prilog željeznice i u prilikama, u kojima ona ne pretstavlja ujedno i najjeftinije riješenje obzirom na troškove transporta. Pro-

blematična je ekonomičnost željeznice, kad se radi o privremenom ili periodičkom, pa uopće kratkotrajnom transportu, jer se ovaj odviše tereti sa troškovima amortizacije, uzdržavanja i režije. Nadalje, željeznica se teško prilagodjuje moderno pocjepanim šumama, mnogobrojnih i malih čestica, jer mnogobrojni ogranci poviauju troškove investicija. U dolini povoljnog nagiba trasira se lako. Ne više tako lako uz nepovoljan nagib, dapače može da bude uopće neekonomična, ako traži nerazmjerno veliku dužinu, zbog visinskih razlika . Nalazi li se u takovoj dolini prikladan vodotok, bolje će možda poslužiti ovaj kao transportno sretstvo. Pogotovo u prilikama, u kojima nema zapreka izboru ovog načina transporta ni sa druge koje strane. Zgodnim kombiniranjem naravnog korita, ustava i točila postignut će se možda jednako velik, ako ne i veći efekat. Jer uz osrednje prilike, regulacija vode plavnice 6 do 7 puta jeftinija je od izgradnje šumske pruge, a ekonomično iskorišćena presiže kapacitet željeznice. Prosječno pak računa se, troškovi transporta šumskom željeznicom dvaputa su veći od troškova transporta plavljenjem. Po Kinnmanu ti troškovi stoje dapače u relaciji 3 do 4 : 1 u Švedskoj. Drvo je uopće roba, koja je teška, te zaprema razmjerno velik prostor prema svojoj vrijednosti. Prikupljati ga pak treba svake godine, sa dalekih i prostranih površina. U tu svrhu, pa u svrhu utovara, istovara i pretovara potrebno orudje, mehanizmi, strojevi i transportna sretstva rijetko stoje u tako povoljnom odnošaju kod drva, kao što je to slučaj kod vrijednije robe, na pr. kod rudača. Zbog toga redovno iznose troškovi transporta i najveći dio drvne cijene. Zbog toga voda plavnica stoji i u tom pogledu bolje od željeznice. Za plavljenje nije potrebno nabavljati, te uzdržavati lokomotive i vozni park, jer pogon, voda i gravitacija, stoji redovno besplatno na raspoloženju. Voda plavnica redovno prodire daleko u srce šume, kao od prirode gotov put . Leži uvijek relativno najniže tako, da se sav sporedan transport do nje izvršuje redovno opet automatski, s pomoću gravitacije, po principu odozgo prema dolje. Zbog ograničenog nagiba kod željeznice, nije moguće uvijek udovoljiti ovom principu. Nego će trebati nerijetko

dopremati robu i odozdo prema gore do željezničke pruge, sa sporednim putevima i sretstvima uz pomoć vještačke vuče. Na taj način bolje udovoljava voda plavnica i najvažnijem postulatu svakog transportnog sretstva, t.zv. kontinuiteti transporta, t.j. nastojanju, da se roba otprema od mjesta proizvodnje do mjesta potrošnje sa što manje pretovarivanja, pa sa što manje pomagala drugog karaktera. Sa plavljenjem u manjem opsegu može se otpočeti redovno već uz manje investicije, te proširivati kapacitet vode plavnice do punog opsega paralelno sa investicijama do dovršetka svih zasnovanih radnja u narednim godinama. Kod željezničke pruge takav postupak u unalognom razmjeru jedva je moguć. U svrhu uredjenja vode plavnice nije potrebno izvlastiti zemljišne čestice, ni oduzimati gospodarski vrijedno tlo, kao kod izgradnje željezničke pruge. Konačno, voda plavnica može se upotrijebiti još i u druge svrhe na stovarištu : za sortiranje i preradbu drva, pogon strojeva, rasvjetu i t.d. Naravno, za transport u suprotnom smjeru, t.j. u šumu, voda plavnica ne otvara šumu nikako. U svrhu uzgoja šume, pa šumskog gospodarenja uopće, uz vodu plavnicu, bit će potrebna još i odgovarajuća mreža puteva. Prema svrsi, putevi te mreže mogu se graditi dakako jednostavno, daleko jeftinije nego šumski izvozni putevi. U najviše slučajeva dostajat će postojeći već putevi, te valjano trasirane, oširoke staze. Budući da je i promet na takovim putevima redovno neznatan, uzdržavanje ne će iziskivati takodjer većih troškova. Stavi li se pak šumski izvozni put u relaciju sa vodom plavnicom, slika ostaje u glavnom ista, kao kod prispodabljanja vode plavnice sa željeznicom. Tek je u toliko nepovoljnija za izvozni put, u koliko taj zaostaje za šumskom željeznicom u pogledu kapacitete i troškova uzdržavanja, kod intenzivnog izvoza na veće daljine. Pavljenjem transportira se roba redovno na veće udaljenosti. Kod većih pak udaljenosti ispada relacija izmedju plavljenja i željeznice redovno već u prilog plavljenju, jer troškovi transporta ne rastu sa dužinom puta ni izdaleka kod plavljenja, zbog besplatnog pogona, kao kod željeznice. Poradi toga, radi li se samo o troškovima transporta,

rijedje i dolazi željeznici podredjeni izvozni put u tom pogledu u uži izbor sa plavljenjem.-

Nije dakle ni malo začudno, da plavljenje ne stagnira ni u današnjici, već nasuprot, da se usavršuje sve više, paralelno sa duhom vremena, kao u načinu uredjivanja samog vodotoka, pa u dotjerivanju mehaničkih pomagala za pogon, tako i u metodi rada.-

Literatura :

Forster : Das forstliche Transportwesen, Wien 1888.

A.v. Engel: Ostereichs Holz-Industrie und Holzhandel, Wien 1913.

Gunno Kinnman : Die schwedischen Flösswasser, Vierteljahresbericht, 1929.

V. Kaiser : Technické zdokonalení vodní dopravy dříví. Lesnická práce. 1931.

A. Schoklitsch : Der Wasserbau, Wien. 1931.

I s p r a v i p o g r e š k e !

Str. 55, 13. redak odozgo : $z_\alpha^2 = v_\alpha^2 \cdot e^{-2\mu\alpha_\alpha}$.

Str. 56, 2. redak, desna strana jednadžbe, prvi član u zagradi treba da glasi : $\cos(\tau+\varepsilon-\alpha_\alpha)\cdot e^{-2\mu\alpha_\alpha}$.

- " - 3. redak. Ova formula ima broj 12.

Str. 59, 8. redak odozgo : $ds = -R\cdot d\alpha$.

Str. 60, 3. redak odozdo : Po točnoj formuli 12 je :

Str. 61, 1. redak treba brisati / otpada /.

Str. 65, 2. redak odozgo : $a_y = \ddot{y} = \dot{v} = -\frac{c_k^2}{r}\cos\frac{c_k}{r}\cdot t = -\frac{c_k^2}{r^2}y$,

Str. 66, 4. redak odozgo : $N_k = \sqrt{X^2+Y^2} = \frac{mc_k^2}{r} = \frac{mc^2\cdot\cos^2\alpha}{r}$.

Str. 69, 2. redak odozgo : $\frac{Q_1}{\sqrt{tg^2\alpha+tg^2\beta+1}} + \frac{Q_2 tg\alpha}{\sqrt{tg^2\alpha+1}} + \frac{Q_3 tg\beta}{\sqrt{1+tg^2\beta}} = Q$;

- " - 8. redak odozgo : $V = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{tg\alpha\sqrt{1+tg^2\alpha}}{\sqrt{1+tg^2\alpha+tg^2\beta}} = \frac{tg\alpha}{\sqrt{1+\cos^2\alpha\, tg^2\beta}}$. 24.)

- " - 9. redak odozgo : Taj kvocijenat V zovemo : <u>koeficijentom nagiba</u>,

Str. 70, 3. redak odozdo : $tg\beta = \frac{v_\alpha^2}{rg}$. 29.)

Str. 76, 1. redak odozdo : $\sqrt{1+\left(\frac{v^2}{k}\right)^2} = \frac{t^2+1}{2t}$;

Str. 78, 5. redak odozdo :
desna strana jednadžbe treba da glasi $+ C\cdot e^{-2\mu\varphi\cos\alpha}$.

Str. 79, 9. redak odozdo : ili $tg\alpha > \mu$.

Str. 82, 3. redak odozdo : $= x^2 + 2\frac{tg\alpha}{\mu}x + 2\left(\frac{tg\alpha}{\mu}\right)^2 + h^2$

Str. 83, 2. redak odozgo : prvi član u brojniku slomka desne strane jednadžbe nije x , nego x^2 .

- " - 3. redak odozdo :
faktor $e^{2\frac{k}{\pi}\varepsilon}$ s desne strane jednadžbe treba da glasi $e^{2\frac{k}{\pi}\varepsilon_\alpha}$

Str.107, 2. redak odozgo : $(tg\alpha < 0)$,

Str.110, Lijeva slika ima broj 43a, a desna 43b.

- " - 4. redak odozgo : $Q_1 = Q\cos\alpha$.

Str. 110, 8. redak odozdo: $\frac{Q_1}{2} = \frac{W}{2}\cos\beta$ ili . . .

Str. 113, Slika u dnu ima broj 44.

Str. 116, Prva jednadžba formule 91. treba da glasi :

$$y = R\cdot\cos\gamma\left[\cos\gamma - e^{\alpha\,\mathrm{tg}\,\gamma}\cdot\cos(\alpha+\gamma)\right]$$

Str. 119, tablica 9., 5. redak odozdo, treći stupac, namjesto 9° 31′ 01″ treba da stoji 9° 35′ 01″

— — — —

C. Ž I Č A R E .

a. O p ć e n i t o .

U ovom poglavlju obradjujemo transportna sretstva, kod kojih žićno uže sačinjava bitan elemenat. Kod pozemnih žičara transport se odvija još na zemlji, vagoneti se gibaju na tračnicama, a tek pogon izvršuje se s pomoću žičnog užeta. Ubrajamo ovamo čekrk i uspinjaču, a obradjujemo ih tek u formama, u kojima su u šumarstvu upotrebljavaju najčešće. Na čekrku spušta se tovar nizbrdo, a na uspinjači diže se tovar uzbrdo. Čekrk pogoni gravitacija, a uspinjaču stroj. Zračne žičare razlikuju se od posljednjih još i u tome, što se i sam promet odvija na žici. Izvode se sa nagibom u svim varijacijama. Zastupaju u zraku pozemnu adhezijonu prugu jednako kao pozemni čekrk i uspinjaču. No pogon izvršuje se uvijek samo s pomoću žice / žičnog užeta /. Sila pak, koja ih pokreće, je motor, gravitacija i kočnica. Zračne žičare izvode se u vrlo raznolikim oblicima, od jednostavnih uredjaja neznatnog kapaciteta, do uredjaja velikih dimenzija, koji po akcionom radiusu i kapaciteti dostižu i prestižu kapacitet šumskih željeznica.

b. Ž i č n o u ž e .

1. Materijal i konstrukcija žičnog užeta.

Najjednostavnije žično uže nije nego masivna žica, kružnog prosjeka, promjera $d \leq 10mm$. One promjera $d < 5mm$ izvlače se u hladnom stanju, a one promjera $d > 5mm$ valjaju se te izvlače u toplom stanju iz taljenog željeza ili čelika. Razlikuje se žarena žica od nežarene. Zarena žica je mekanija, podatnija i manje čvrstoće, a nežarena žica je tvrdja, elastičnija / malo podatna / i veće čvrstoće, prema podacima kako slijedi:

	E kg/cm²	σ_p kg/cm²	σ_B kg/cm²
Željezna žica nežarena	2,000.000	4200	5600 ~ 7000
-"- -"- žarena	2,000.000	2000	4000
Čelična žica nežarena	2,150.000	5200	6500
-"- -"- žarena	2,150.000	2250	4000 - 6000

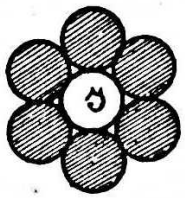
E modul elastičnosti.

σ_p naprezanje na granici proporcionalnosti.

σ_B čvrstoća potezanja.

Kod stručno izradjenih, stabilnih žičara upotrebljava se danas redovno žično uže t.j. uže spleteno od više žica, izradjenih od naročito čvrstog čelika, u tignju taljenog / Tiegelgusstahl, Tiegelstahldrath / sa modulom elastičnosti E = 2,150.000 kg/cm², granicom proporcionalnosti σ_p = 10.000 kg/cm² i čvrstoćom potezanja σ_B = 9000 do 19000 kg/cm², prosječno 14500 kg/cm². No plete se takovo uže i od prije spomenutih nežarenih žica, čvrstoće potezanja σ_B = 6000 do 6500 kg/cm².

Najjednostavnije žično uže zove se usučak / die Litze, sl. 1 /. Oko jezgre $\mathcal{J}$, koja može biti žica sa vanjskima jednake ili slabije kvalitete ili dapače katranom natopljeni konopac, opleteno je 6 vanjskih žica, slično kao kod konopca. Način pletenja, ne samo usučka, nego žičnog užeta uopće, često se izražuje sa formulom. Tako na pr. $(1+6)_{36}$ označuje usučak spleten od 7 žica jednake kvalitete i jednakog promjera δ = 3,6 mm. Formula $(0+6)_{25}$ označuje usučak od 6 vanjskih žica, promjera δ = 2,5mm, opletenih oko žice slabije kvalitete / mekano željezo / kao jezgre / 0 / . Konačno formula $(k+6)_{22}$ označuje usučak od 6 žica opletenih oko konopa / k / kao jezgre. Jezgra slabije kvalitete / mekano željezo, katranom natopljeni konop / ne uzima se u račun kod prosudjivanja čvrstoće žičnog užeta.



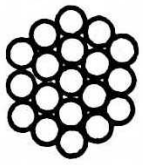
Slika: 1

Jače uže plete se od više žica ili od više usučaka, već prema svrsi, kojoj služi, na razne načine, a razlikujemo dvije glavne vr-

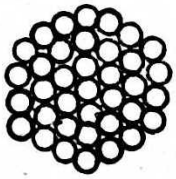
ste : spiralno uže i uže sukano od usučaka. Prvo služi kod šumskih žičara kao pruga, uže nosač, na kome se giba ovješeni teret, a drugo pokreće teret.

Spiralno uže. Jezgra spiralnog užeta je usučak od 7 žica jednakog promjera te iste kvalitete, oko kojeg su opletene još daljnje žice općenito u više reda. U svakom daljnjem redu ima po 6 žica više. Tako na pr. formula $(1+6+12)_{36}$ označuje spiralno uže od 19 žica, jednakog promjera $\delta = 3{,}6\,mm$; oko usučka od 7 žica kao jezgre opleten je u suprotnom smjeru još jedan red od 12 žica jednakog promjera / sl. 2 /. Spiralno uže od jednog usučka kao jezgre, pa još 2 vijenca žica predočuje sl. 3. Formula tog užeta glasi:

$$(1+6+12+18)_{40}\,.$$



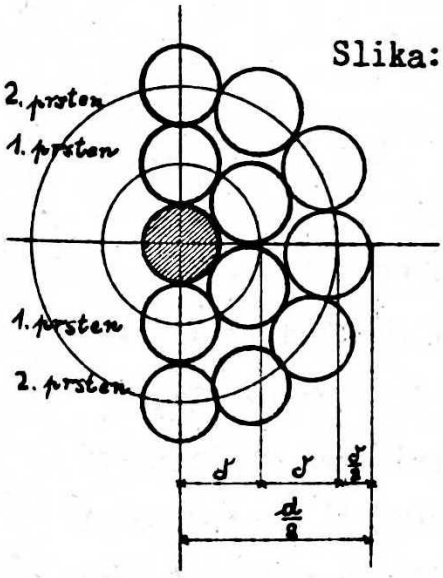
Slika: 2



Slika: 3

Indeks 40 znači, da su svih 37 žica jednakog promjera $\delta = 4{,}0\,mm$. Nutarnja 2 prstena žica sukana su redovno u istom smjeru, a treći vanjski u suprotnom. Plete se takovo uže i u tri reda žica oko usučka kao jezgre. Svega ima u njem upleteno onda 61 žica po formuli:

$$(1+6+12+18+24)\delta\,.$$



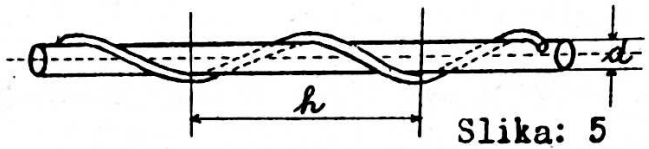
Slika: 4

Promjer d na ovaj način sukanog užeta / koje se zove, za razliku od onih na drugi način spletenih, otvoreno spiralno uže /, izlazi iz činjenice, što se oko jedne žice nalazi omotano p prstena žica, sa / sl. 4 / :

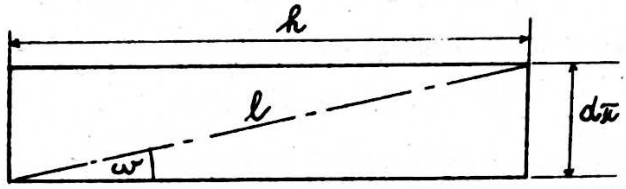
$$d = (2p+1)\delta\,.$$

Dakle je d/δ uvijek cijeli broj: $(2p+1)$. Prvi prsten oko jezgre, pa svaki daljnji oko predjašnjega, opleten je po mogućnosti gusto, tako da reške medju žicama budu što manje. Pojedina žica opisuje oko osovine užeta polumjera d vijčanicu visine hoda h / sl. 5 / . Ta vijčanica, razvita u ravninu na dužinu h, zajedno

sa plaštem cilindra, u kom se nalazi, predočuje dijagonalu l paralelograma dužine h i visine $d\pi$. Da se dakle postigne spomenuta gustoća, dužina h, koja se zove <u>dužina sukanja</u>, treba da mjeri po stečenom iskustvu $h = 10 \sim 12\,d$, dotično <u>kut sukanja</u> ω / sl.6 / treba da se kreće u granicama $\omega = 15^\circ \sim 20^\circ$.



Slika: 5



Slika: 6

Zbog toga je žica duža od dužine sukanja, a h dugačko uže teže je od nh ravnih žica, ako n označuje broj žica u užetu. Zbog toga zaveden je i naročiti broj ξ, t.zv. <u>koeficijenat sukanja</u> / die Verseilungsziffer /, koji pokazuje koliko puta je teži tekući metar užeta od težine n tekućih metara ravnih žica. Praktički dobije se taj broj, da se odvagne tm užeta / ili druga koja zgodna dužina /, pa odredi težina jednako dugačkih ravnih žica od kakovih je uže spleteno, te prva težina podijeli sa drugom.
Taj se koeficijenat može definirati i kao broj, koji pokazuje, koliko su duže žice od užeta, od njih usukanog. Ako naime tm ravnih žica teži $g_{\check{z}}$ kg. a tm od njih spletenog užeta g kg., onda je u vezi sa sl. 6 :

$$g \cdot h = g_{\check{z}} \cdot l$$

a odatle:

$$\xi = \frac{g}{g_{\check{z}}} = \frac{l}{h} = \sec\omega. \qquad 1.)$$

ili:

$$l = \xi \cdot h = h \sec\omega$$

ω označuje u ovom slučaju dakle njeku prosječnu vrijednost kuta sukanja. I obrnuto iz posljednje jednadžbe može se izračunati taj kut.

Izmedju prosjeka spiralnog užeta / promjera d / $F = \frac{\pi}{4} d^2$ i metalnog / korisnog, aktivnog / $F_m = n\frac{\pi}{4}\delta^2$ / δ promjer jedne od n žica, od kojih je uže spleteno / postoji snošaj $F_m = c_1 F \sim 0{,}75\,F$. Kod prosudjivanja čvrstoće užeta dolazi u obzir naravno samo metalni prosjek užeta F_m. Ako je dakle uže potezano sa silom S, naprezanje u njemu mjeri

$$\sigma_m = S : F_m \ kg/cm^2 \qquad 2.)$$

Označuje li :

g težinu žičnog užeta u kg/m.

$\gamma = 7{,}86\ kg/dm^3$ jediničnu težinu metala žice ;

Onda je : $g = 10^{dm} \cdot \frac{F_m^{cm^2}}{10 \cdot 10} \cdot \gamma \cdot \varsigma$ ili $F_m = \frac{10g}{\gamma \cdot \varsigma}$.

Najveća napetost u užetu u času prekidanja mogla bi onda iznositi, ako σ_B kg/cm^2 označuje čvrstoću potezanja :

$$S_B = F_m \cdot \sigma_B = \frac{10\sigma_B}{\gamma \cdot \varsigma} \cdot g = R \cdot g \qquad 3.)$$

$$R = \frac{10\sigma_B}{\gamma \cdot \varsigma} \qquad 4.)$$

Dimenzija faktora R je m; taj faktor označuje dakle dužinu kidanja užeta. U vertikalno ovješenom užetu dužine R vladala bi naime na gornjem kraju napetost S_B , t.j. napetost, uz koju bi se prekinulo uže na tom kraju samo zbog vlastite težine. Zbog toga je R veliki broj, kod dosad opisanih spiralnih užeta kreće se izmedju 10.500 i 17.500 m. Praktična vrijednost faktora R leži u tome, što je konstantan broj, nezavisan o debljini užeta sukanog na jednaki način / ς /, te od žica istoga metala / γ, σ_B /. Snošaj imedju čvrstoće potezanja / σ_B /, koeficijenta sukanja / ς / i dužine kidanja / R / za do sada opisana otvorena spiralna užeta pobliže je iskazan u tablici 1.

Uže od	σ_B kg/cm^2	ς	R m
19 žica	9000	1,070	10.700
	12000		14.270
	14500		17.250
37 žica	9000	1,076	10.650
	12000		14.190
	14500		17.150

Tablica: 1

U šumarstvu najčešće se upotrebljava otvoreno spiralno uže od 19 žica, rijedje od 37 žica, a još rijedje od 61 žica sa čvrstoćom potezanja od $\sigma_B = 6000$ do $14500\ kg/cm^2$ / ili $\sigma_B = 60 - 145\ kg/mm^2$ / . U tablici 2. i 3. sakupljeni su podaci o takovim užetima, kako su običajni u Njemačkoj, a u tablici 4. kako su običajni u Austriji.

Tablica: 2
Otvoreno spiralno uže od 19 žica.

d	δ	F_m	g	L
mm	mm	cm^2	kg/m	m
15	3,0	1,34	1,13	600
16	3,2	1,53	1,28	650
17	3,4	1,72	1,45	600
18	3,6	1,93	1,62	580
19	3,8	2,15	1,83	520
20	4,0	2,39	2,00	470
21	4,2	2,63	2,21	430
22	4,4	2,89	2,42	390
23	4,6	3,16	2,65	350
24	4,8	3,44	2,90	320
25	5,0	3,73	3,13	300
26	5,2	4,02	3,40	280
27	5,4	4,35	3,65	250
28	5,6	4,68	3,95	240
29	5,8	5,02	4,25	225
30	6,0	5,37	4,55	210
31	6,2	5,74	4,80	195
32	6,4	6,11	5,15	180
33	6,6	6,50	5,50	170

Opaska

d promjer užeta.

δ promjer jedne metalne žice u njem.

$F_m = n \cdot \frac{\pi \delta^2}{4}$ metalan prosjek ($n = 19$).

g težina užeta.

L najveća dužina u kojoj se uže dogotavlja u jednom komadu.

Vidi opasku slijedeće tablice.

Tablica: 3
Otvoreno spiralno uže od 37 žica.

d	δ	F_m	g	L
mm	mm	cm^2	kg/m	m
27	3,85	4,30	3,65	490
28	4,00	4,65	3,90	490
29	4,14	4,97	4,20	420
30	4,28	5,32	4,50	390
31	4,42	5,67	4,80	370
32	4,57	6,07	5,20	350
33	4,71	6,44	5,45	320
34	4,85	6,83	5,75	310
35	5,00	7,26	6,10	280
36	5,14	7,67	6,45	270
37	5,28	8,09	6,85	260
38	5,42	8,59	7,20	250
39	5,57	9,01	7,60	230
40	5,71	9,46	8,00	220
41	5,85	9,93	8,40	210
42	6,00	10,45	8,80	200

Oznake kao u tablici 2.

Uže sa $\sigma_B = 145\ kg/mm^2$ suka se samo od žica $\delta \leq 5,3$ mm.

Uže se isporučuje u komadima cca 50 kg težine.

Podaci Firme:
Felten & Guilleaume.

Obično:
$\sigma_B = 90\ kg/mm^2$
$\sigma_B = 120$ ---
$\sigma_B = 145$ ---

Tablica : 4

Otvoreno spiralno uže .

δ	Broj žica	d	g	σ_B kg/mm²			Opaska
				60	130	145	
mm	n	mm	kg/m	S_B kg			
	19	11	0,6	4330	9390	10470	
2,2	37	16	1,2	8430	18280	20380	
	19	12,5	0,8	5600	12120	13520	
2,5	37	18	1,55	10910	23610	26340	
	19	14	1,00	7030	15220	16960	
2,8	37	20	1,95	13690	29640	33040	
	19	15,5	1,25	8610	18660	20800	
3,1	37	22	2,40	16760	36330	40510	
	19	17	1,50	10330	22420	25020	
3,4	37	24	2,85	20120	43660	48730	
	19	18	1,65	11600	25140	28040	
3,6	37	25,5	3,25	22600	48950	54610	
	19	19	1,85	12920	28010	31230	
3,8	37	27	3,60	25160	54540	60820	
	19	20	2,05	14320	31050	34650	
	37	28	3,95	27890	60460	67480	
4,0	61	36,5	6,60	45990	99670	111260	
	19	21	2,25	15780	34220	38150	
	37	30	4,35	30740	66640	74290	
4,2	61	38,5	7,25	50690	109860	122480	
	19	22	2,50	17340	37560	41890	
	37	31	4,80	33780	73150	81580	
4,4	61	40	8,00	55690	120600	134500	
	19	23	2,70	18940	41060	45790	
	37	33	5,20	36880	79960	89170	
4,6	61	42	8,70	60810	131820	147010	
	19	24	2,95	20630	44710	49870	
	37	34	5,70	40180	87060	97120	
4,8	61	44	9,40	66240	143530	100120	
	19	25	3,20	22380	48510	54110	
	37	35,5	6,20	43580	94460	105370	
5,0	61	46	10,30	71850	155730	173720	

δ promjer jedne žice u užetu.

d promjer užeta.

g težina tm užeta.

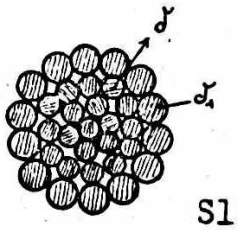
σ_B čvrstoća poteznja.

S_B napetost u užetu na granici čvrstoće.

Dužina kidanja užeta izlazi iz formule:

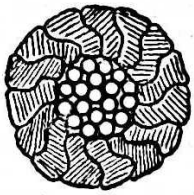
$$R = \frac{S_B}{g}.$$

Otvoreno spiralno uže suka se još i na drugi način. Tako na pr. sl. 7 predočuje uže, u kojem je oko jezgre od 19 žica, δ promjera, sukanih na prije opisani način, opleten još jedan prsten od 14 žica jačeg promjera $\delta_1 > \delta$ po formuli: $(1+6+12)\delta + 14\delta_1$.

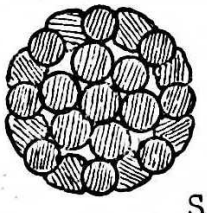


Slika : 7

Želi se na taj način postignuti otpornije uže proti habanju; jer vanjski prsten, izradjen od jačih žica, otporniji je proti pritisku i brušenju točkova kolica, koja zajedno sa teretom kotrljaju na užetu. Budući je ali metalan prosjek ovakovog užeta manji od metalnog prosjeka užeta sukanog na prije opisani način / sve žice jednako jake / uz isti promjer δ, to se ovo posljednje radije upotrebljava, naročito u šumarstvu.



Slika : 8



Slika : 9

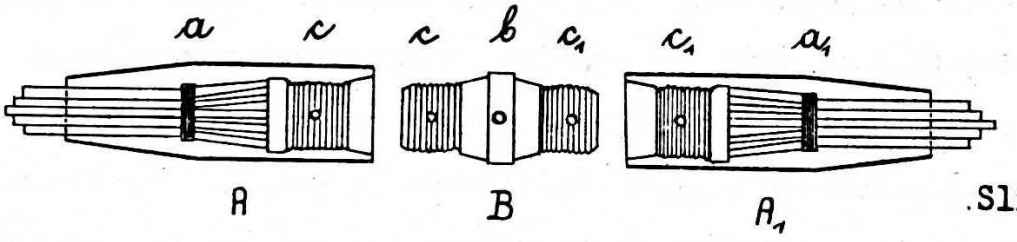
Svako otvoreno uže ima rapavu površinu. Medju žicama vanjskog prstena nalaze se otvorene reške, kroz koje lako prodire kišnica u nutrinju užeta. Točkovi kolica diraju periferiju vanjskih žica na vrlo malenoj površini. Zbog toga se suče svako otvoreno uže od čeličnih žica najbolje kvalitete i najveće čvrstoće / 900 - 19000 kg/cm^2 /. Osim toga bezuvjetno je potrebno mazati takovo uže, da se očuva od prodiranja i daljnjeg štetnog utjecaja vlage.

Žica otvorenog spiralnog užeta ne može se produžiti, da se žarenjem spoji sa drugim komadom. Na takovom spoju slabije čvrstoće žica se lako prekine pod prometom. Krajev pak prekinute žice odsukaju se vrlo brzo sa užeta na dužine od više metara. Zbog toga bi pak nastala smetnja u prometu.

Nego spiralno uže suka se od nesvarenih, cjelovitih žica, te se isporučuje u komadima posve odredjene dužine, a pojedini komadi spajaju se medjusobno sa naročitim kolčacima / sl. 10 /. Dužina jedne žice u pojedinom komadu odmjerena je tako, da ne teži više od 40 do 50 kg.

Prema tome uže,sukano od debljih žica, isporučuje se u kračim komadima, a ono sukano od tanjih, u dužim / isp. dužinu $\mathcal{L}$ u tabl. 2 i 3 /.

Kolčaci, s kojima se pak spajaju pojedini komadi u povoljno dugačko uže, izradjuju se na razne načine / Bleichert, Pohlig, Kaiser itd. / . Bleichertov kolčak sastoji od tri komada /A, B i A_1 sl.10 /. Dijelovi kolčaka, u koje ulaze krajevi užeta / A i A_1 / gradjeni su posve jednako. Šupljina kolčaka na početku ima oblik cilindra, prelazi u srednjem dijelu u koničan oblik, a u trećem dijelu ima opet oblik cilindra providjenog sa vijčanom užljebinom, jer služi u tom dijelu i kao matica, u koju ulazi srednji dio, vijak B . Kraj užeta se otsječe ravno, i na mjestu a, nedaleko od kraja, obavije i dobro poveže sa žicom. Pojedine žice odsukaju se i isprave pa nješto razmaknu od kraja prema prema mjestu a. U medjuprostore zatjeraju se željezni klinovi tako, da kraj užeta poprimi tačno koničan oblik srednjeg dijela kolčaka. Na ovaj način ne može se izvući uže iz kolčaka. Kad je uže usadjeno, kao u kolčak A tako i u kolčak A_1, primaknu se oba, pa utakne vijak B sa jednim krajem u jedan, sa drugim krajem u drugi kolčak. Vijak se zakreće potom tako dugo dok se ne pokriju rupe c dotično c_1, izvrtane na vijku i maticama. U tu svrhu



Slika : 10

vijčanica vijka B suprotnog je hoda na jednom i drugom kraju, a vijak providjen sa rupom b, u koju se utakne klin, s pomoću kojeg se zakreće. Da se spoj ne odriješi pod prometom, usadi se konačno i provuče kroz rupu c dotično c_1 još i željezni klin. Prije su na mjesto klinova zalijevali medjuprostore razmaknutih žica bijelom kovinom. S tim poslom ali skopčano žarenje žica nepovoljno je djelovalo na njihovu čvrstoću. Kolčaci udebljaju uže i prekidaju jednoličnost hoda kolica po užetu. Zbog toga i od ovih na drugi način konstruiranih spojeva dolaze u obzir samo oni, koji u tom pogledu ne zaostaju

mnogo od opisanog Bleichertovog kolčaka.

U nastojanju, da se ukloni najslabija strana otvorenog spiralnog užeta, t.j. da se postigne glatka i zatvorena površina, nastalo je zatvoreno spiralno uže. Slika 8 predočuje poprečan rez takovog užeta. Vanjski prsten sukan je od naročito profilovane žice u obliku slova S. Jezgra užeta je otvoreno spiralno uže sukano od 19 žica. Jače ovakovo uže ima izmedju jezgre i vanjskog prstena još jedan ili dva reda opet naročito profilovanih žica i to u obliku klina. Osim glatke površine prednost zatvorenog užeta leži i u tome, što mu je metalan prosjek nješto veći od metalnog prosjeka otvorenog spiralnog užeta jednakog promjera / d /. Nadalje, profilovane žice mogu se spajati i žarenjem, jer krajevi pojedine profilovane žice, ne mogu iskočiti iz užeta u slučaju loma baš poradi svog oblika. Uslijed toga suka se i isporučuje takovo uže u povoljno dugačkim komadima.

Konačno trajnije je od otvorenog užeta, jer se manje troši na površini pod prometom. Slabe su mu strane : manja elastičnost, te manja čvrstoća profilovanih žica / σ_D = 9500 ~ 12000 kg/cm² /. Osim toga u razmerno visokim S žicama nastaje veliko naprezanje u slučaju pregiba, naročito kod užeta manjeg promjera. Nadalje od prometa istrošene i prelomljene žice teško se zapažaju u užetu baš poradi toga, što ne iskaču nad površinu. Konačno, zatvoreno uže je skupocijenije od otvorenog. Upotrebljava se u slučajevima, u kojima je potrebno uže velikog promjera, sa glatkom površinom, osiguranom protiv utjecaju vlage, u šumarstvu dakle rijetko.

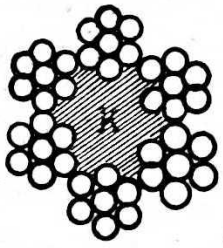
Po srijedi izmedju otvorenog i zatvorenog užeta,stoji poluotvoreno / ili poluzatvoreno / spiralno uže / sl. 9 /. Jezgru sačinjava opet otvoreno spiralno uže, sukano od 19 do 37 žica, a vanjski prsten red od naročitih, u obliku klina profilovanih žica, te od običnih, kružnog prosjeka, naizmjence. Po cijeni i čvrstoći približuje se tako sukano uže otvorenom, a po glatkoj površini zatvorenom spiralnom užetu. Teoretska mu je manjkavost, što žice u vanjskom prstenu nijesu napregnute jednolično, zbog različitog oblika. Općenito se

upotrebljava u slučajevima, u kojima se zahtjeva veći promjer užeta /d/, uz koncentrično opterećenje veće od 350~400 kg., no i uz manje terete, ako slijede u gustim slijedovima, pa na izloženim mjestima žičara / konveksni prelazi itd. /.

Svako spiralno uže, jer je gradjeno od elastičnog materijala, velike čvrstoće i po mogućnosti velikog metalnog prosjeka, vrlo je otporno proti potezanju, pregibanju i vraća se nakon opterećenja brzo u prvobitni položaj. Zbog toga se upotrebljava redovno kao uže nosač t.j. kao podloga / pruga / na kojoj se gibaju kolica žičara.

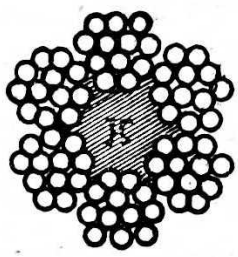
Kao pogonsko uže, t.j. uže koje pogoni kolica žičara po užetu nosača ili reguliše njihovu brzinu gibanja, služi naročito uže sukano od usučaka / das Litzenseil / tako, da je mnogo podatnije, fleksibilnije od spiralnog užeta. Takovo uže prelazi oko koluta kočnica, oko pogonskog i povratnog vitla, treba dakle da se savija u krivulje razmjerno malenog polumjera krivosti i opet odvija sve bez štetnih posljedica za njegovu čvrstoću.

Najjednostavnije pogonsko uže je usučak $(k+6)_f$ ili $(0+6)_f$. T.j. uže sukano od 6 žica oko mekane jezgre : konopa /k/ ili mekanog željeza /0/. Jače uže suka se od 6 usučaka oko katranom natopljene konopne jezgre /K/ po formuli na pr. $K+6(1+6)_f$ / sl.11 /.



Slika : 11

Još jače pogonsko uže predočuje u presjeku sl. 12. Ovo je sukano po formuli $K+6(3+9)_f$. Oko konopne jezgre /K/ opleteno je 6 usučaka. Jezgru svakog usučka čine 3 žice jednakog promjera i kvalitete sa 9 žica vanjskog prstena.



Slika : 12

Žice u usučku, pa usučci oko konopne jezgre sukaju se u istom smjeru / Albertov način sukanja sl.14; rudarski inž. Albert pronašao je naime žično uže i ovaj način sukanja / ili u suprotnom / unakrsno sukanje sl. 13 /. Ako je ω kut su-

kanja žica u usučku, a ω_2 kut sukanja usučaka oko konopne jezgre / pritom je uvijek $\omega_2 > \omega_1$ / onda je kod istosmjernog načina sukanja kut sukanja pojedinih žica oko osovine užeta $\omega = \omega_1 + \omega_2$, a kod unakrsnog $\omega = \omega_2 - \omega_1$. Zbog toga su pojedine žice jače nagnute prema osovini užeta nego čitavi usučci kod istosmjernog sukanja / sl.14 /, a slabije kod unakrsnog sukanja / sl.13 /. U posljednjem slučaju pojedine žice teku u dugim potezima gotovo paralelno sa osovinom užeta, u prvom pak slučaju u kratkim potezima vrlo nagnute prema toj osovini.

Slika: 13

Slika: 14

Albert

Dakle već samim površinskim promatranjem raspoznaje se jasno jedan način sukanja od drugog. Prema načinu sukanja uže ima i različita svojstva. Na Albertov način / istosmjerno /sukano uže podatnije je od unakrsnog. Usučci na slobodnim krajevima istosmernog užeta rado se odmataju sami od sebe, dok to nastojanje odmatanja gotovo iščezava kod unakrst sukanog užeta. Zbog toga se istosmjerno sukano uže ne može upotrijebiti kod dizalica / der Kran /, nego tek unakrst sukano. S druge strane istosmjerno sukano uže mnogo je trajnije, ima gladju površinu od unakrst sukanog, a jer je i podatnije, to se općenito upotrebljava kod žičara i to s tim više, što nastojanje odmatanja usučaka kod žičara nema praktičkog značenja, budući se upotrebljava ili kao napeto beskonačno uže ili su mu slobodni krajevi na drugi način učvršćeni, tako da se odmatati ne mogu.

Žice u pogonskom užetu redovno su 1 do 2 mm. jake, rijetko jače; jer sa debljinom žice pada gipkost užeta. Promjer koluta ili vitla D, oko kojeg je omotano pogonsko uže odabire se po mogućnosti velik. Uz manji promjer od $D \sim 500\delta$ gubi uže na čvrstoći trajno. Žice pogonskog užeta izvlače se takodjer od najboljeg tvrdog čelika, čvrstoće od 6000 do 18000 kg/cm^2. Najčešće se traži srednja čvrstoća

sa $\sigma_B = 145\ kg/mm^2$, jer ono uže od žica najveće čvrstoće $\sigma_B = 180\ kg/mm^2$ u prometu nije najtrajnije. Podaci o pogonskom užetu, kakovo se najčešće upotrebljava kod šumarskih žičara, sakupljeni su i iskazani u tablici 5. i 6.

Tablica : 5

Pogonsko uže sukano od 42 žica / sl.11 / i 72 žica / sl.12 /.

d	Uže od 42 žice			Uže od 72 žice			Opaska
	δ	F_m	g	δ	F_m	g	
mm	mm	cm^2	kg/m	mm	cm^2	kg/m	
9	1,0	0,33	0,31	·	·	·	
10	1,1	0,40	0,37	·	·	·	d promjer užeta.
11	1,2	0,48	0,44	·	·	·	δ promjer žice u užetu.
12	1,3	0,56	0,52	·	·	·	
13	1,4	0,65	0,60	1,0	0,57	0,53	F_m metalan presjek svih žica u užetu.
14	1,5	0,74	0,69	1,1	0,68	0,65	
15	1,6	0,84	0,78	1,2	0,81	0,77	g težina užeta po tm.
16	1,7	0,95	0,88	1,3	0,96	0,90	
17	1,8	1,07	0,99	·	·	·	
18	1,9	1,19	1,10	1,4	1,11	1,04	Njemački podaci.
19	2,0	1,32	1,22	1,5	1,27	1,20	
20	2,1	1,46	1,34	·	·	·	
21	·	·	·	1,6	1,45	1,36	
22	·	·	·	1,7	1,63	1,54	
23	·	·	·	1,8	1,83	1,72	
24	·	·	·	1,9	2,03	1,92	
25	·	·	·	·	·	·	
26	·	·	·	2,0	2,25	2,13	
27	·	·	·	2,1	2,50	2,35	

Uže od usučaka oko gipke jezgre suče se osim u navedenim još i u drugim kombinacijama. Takodjer ne služi isključivo kao pogonsko uže nego i u druge svrhe. Spiralno uže, na kojem se pokreće promet, razapeto je kod modernih žičara na taj način, da je na jednom kraju,

Tablica : 6

Uže sukano od usučaka / pogonsko uže / .

δ	n	d	g	S_B kg. ako je σ_B kg/mm²				Opaska
mm		mm	kg/m	60	130	150	180	
1,2	24	9,5	0,28	1620	3530	4060	4880	δ promjer jedne žice u užetu.
	35	10,5	0,38	2370	5150	5940	7130	
	42	11,5	0,44	2850	6170	17120	8550	n broj svih žica.
	49	13	0,52	3320	7200	8310	9970	d promjer užeta.
	72	16	0,80	4880	10580	12240	14620	g težina užeta.
	84	17	0,86	5700	12350	14250	17100	
	96	18	1,00	6510	14110	16290	19550	σ_B čvrstoća poteznja.
	114	19	1,20	7730	16760	19330	23140	
1,3	24	10	0,31	1910	4150	4780	5740	S_B napetost u užetu na granici čvrstoće.
	35	11,5	0,44	2790	6060	6970	8370	
	42	12,5	0,52	3340	7270	8370	10040	
	49	14	0,60	3900	8480	9750	11700	Austrijski podaci.
	72	17	0,90	5730	12460	14400	17200	
	84	18	1,05	6690	14530	16720	20070	
	96	19,5	1,20	7640	16610	19110	22930	
	114	20,5	1,40	9070	19720	22690	27230	
1,4	24	10,5	0,36	2210	4800	5530	6640	
	35	12	0,50	3230	7000	8080	9700	
	42	13,5	0,62	3870	8400	9700	11640	
	49	15	0,70	4510	9800	11310	13570	
	72	18,5	1,05	6630	14400	16630	19940	
	84	19,5	1,20	7750	16800	19390	23270	
	96	20,5	1,35	8860	19200	22170	26600	
	114	22	1,65	10530	22800	26320	31580	
1,5	24	11,5	0,43	2550	5520	6380	7660	
	35	13	0,60	3710	8050	9310	11170	
	42	14	0,70	4450	9660	11180	13400	
	49	16	0,80	5190	11270	13030	15630	
	72	19,5	1,20	7630	16560	19150	22970	
	84	21	1,40	8900	19320	22350	26800	
	96	22	1,60	10180	22080	25540	30630	
	114	24	1,90	12080	26220	30320	36370	

na jednoj stanici nepomično usidreno u zemlju, a na drugoj stanici, na drugom kraju opterećeno sa vertikalno ovješenim teretom. Na jednom kraju mijenja dakle uže smjer da dosegne zemlju, a na drugom, da zahvati teret, kojiga razapinje, koliko je potrebno. U tu svrhu prelazi uže preko koluta, na kojima se lomi njegov smjer u krivuljama relativno malenog polumjera krivosti, zbog skučenosti prostora. Budući je ali spiralno uže slabo podatno i ne podnosi takve pregibe, to se na tim stanicama, prije loma smjera, nastavno priključuje i pričvršćuje na nj uže sukano od usučaka oko gipke jezgre, izradjeno jednako ili slično kao prije opisano podatno pogonsko uže. Spiralno uže napeto je dakle posredno preko užeta sukanog od usučaka. Posljednje treba naravno da je barem toliko čvrsto, koliko i samo spiralno uže. U tu svrhu potrebno je dakle redovno vrlo čvrsto uže sukano od usučaka, jer je redovno i spiralno uže vrlo čvrsto, jedno zbog prometa, koji se odvija na njemu, drugo zbog velikih raspona u kojima se razapinje. Pojedini usučci takovog užeta, da se postigne dovoljno veliki metalan prosjek, sukani su zbog toga na naročiti način. Oko jezgre od triju profilovanih trouglatih žica obavita su još dva prstena, nutarnji sa tanjim a vanjski sa debljim žicama, a i čitav usučak ima takodjer više manje trouglat oblik. Samo uže sukano je onda od 6 takovih usučaka oko konopne jezgre, te se zove uže sukano od trobridnih usučaka / das dreikantlitzige Seil /.

Uže sukano od usučaka isporučuje se takodjer u komadima zbog transporta odmjerene dužine već prema promjeru dotično težini užeta. Pojedine komade treba onda spojiti u jednu cjelinu / redovno u prsten t.j. beskonačno uže / na mjestu gradnje, dotično na mjestu upotrebe. Izvršuje se to obično na ovaj način :

Od kraja užeta 60 h / h = dužina sukanja / daleko dobro se sveže uže s pomoću tanke, oko užeta njekoliko puta omotane žice. Zatim se odsukuju usučci u okrajku užeta do svezanog mjesta, ali tako, da po mogućnosti zadrže oblik vijčanice, kakav su imali u užetu. Konopna jezgra presječe se kod svezanog mjesta, odsječeni njezin okrajak odbaci. Tako se uradi sa krajem jednog / A / i drugog / B / komada

užeta, koji se spajaju. Oba kraja umetnu se potom jedan u drugi tako, da odsukani usučci / A_1 do A_6 / prvog komada udju medju odsukane usučke drugog komada / B_1 do B_6 / p.p. kao kao prsti jedne ruke medju prste druge ruke. Na jednom kraju / recimo A / razveže se sada ono svezano mjesto, t.j. odmota se ona tanka žica i otstrani. Jedan usučak, recimo A_1, odsuka se za-tim na daljnju dužinu od 50 h, a na njegovo mjesto nasuče se najbliži usučak, recimo B_1, iz kraja drugog komada. Krajevi obiju usučaka A_1 i B_1 odsjeku se zatim toliko, da na svom sastavku strše nad užetom cca. 10 h daleko. Potom se svinu i lako privežu na uže. Susjedni usučak A_2 jednog komada i B_2 drugog komada preskoči se sada, a usučak A_3 odsuka na daljnju dužinu od 30 h, te na njegovo mjesto nasuka usučak B_3. Sa krajevima tih usučaka postupa se jednako kao sa krajevima prvog para : njihovi se okrajci skrate na dužinu 10 h i lako privežu na uže. Konačno odsuče se usučak A_5 na daljnju dužinu od samo 10 h, a na njego mjesto nasuče usučak B_5, te pričvrste njihovi okrajci na uže. Nakon toga razveže se kraj drugog komada / B /, t.j. sa onog mjesta otstrani ona omotana tanka žica. Usučak / B_2 /, koji smo prije preskočili, odsuče se na daljnju dužinu od 50 h, na njegovo mjesto nasuče usučak A_2; zatim usučak B_4 odsuče se na daljnju dužinu od 30 h, a na njegovo mjesto nasuče usučak A_4 i konačno usučak B_6 odsuče se na daljnju dužinu od 10 h a na njegovo mjesto nasuče usučak A_6. Okrajci tih usučaka podrežu se na dužinu od 10 h opet lako svinu i privežu na uže. Sa okrajcima ovih i prijašnjih usučaka postupa se dalje ovako : Još prigodom odmrsivanja onih prvih usučaka, na jednom / A_1 / i drugom / B_2 / komadu na dužinu od 50 h, presječe se konopna jezgra u toj dužini na više dijelova i ostavi privremeno na svom mjestu. Na svakom sastavku / križanju / dvaju usučka redom, najviše h daleko lijevo i desno, stave se na uže objimke / die Schelle / providjene sa ručkama, te dobro pritegnu. S pomoću tih ručaka odsuče se zatim dio užeta medju objimkama toliko, koliko je potrebno i dovoljno, da se s pomoću razvrtka / die Spleissahle / izvadi dio konopne jezgre, pa provuče kroz uže okrajak jednog i drugog usučka u suprotnom smjeru. Ovi se okrajci još kliještima

istegnu, podrežu toliko, da će segnuti upravo do polovice razmaka križanja susjednih usučaka, jedan na jednu, a drugi na drugu stranu. U istom razmaku povadi se pomoću objimka i razvrtka sva preostala još konopna jezgra, a na njezino mjesto uguraju ti okrajci usučaka, koje ali treba još prije omotati i obaviti materijalom izvadjene konopne jezgre toliko, koliko je potrebno, da bude jezgrovna šupljina opet dobro ispunjena. Tako se postupa sa okrajcima na svakom sastavku / križanju / usučaka.

Konačno se tako izradjeni spoj stavi na drvenu podlogu, pa udarcima mjedenog ručnog batića ispravi i zagladi u ravan i obli oblik užeta normalnog izgleda.

2./ Elastično ponašanje užeta, naprezanje i napetost u njemu.

λ ukupna rastega l dugačke masivne žice, prosjeka F, nategnute silom S mjeri, kako je poznato :

$$\lambda = \frac{S \cdot l}{E \cdot F} \qquad 5.)$$

Budući su žice izradjene od taljenog željeza ili čelika uzima se u račun modul elastičnosti prosječno sa $E = 2{,}100.000\ kg/cm^2$.

Spiralno uže nije masivno, nego sukano od više žica oko metalne jezgre. Ono se proteže relativno više od masivne žice u napetom stanju, te pritom radi samo sa metalnim dijelom svog prosjeka. Za spiralno uže analogna formula ima zbog toga oblik :

$$\lambda = \frac{S \cdot l}{c \cdot E \cdot F_m} . \qquad 6.)$$

Bachov brcj c mjeri za spiralno uže sa

4 prstena žica oko metalne jezgre $c = 0{,}62$

3 -"- -"- -"- -"- -"- $c = 0{,}74$

2 -"- -"- -"- -"- -"- $c = 0{,}86$

Otvoreno spiralno uže sukano na pr. po formuli $/\ 1 + 6 + 12 + 18\ /_{50}$ promjera $d = 35$ mm. , metalnog prosjeka $7{,}26\ cm^2$, dugačko 451 m., a napeto sa silom od $21{,}39^t$ rasteglo se je za :

$$\lambda = \frac{21390 \cdot 451 \cdot 10^2}{0{,}74 \cdot 21 \cdot 10^5 \cdot 7{,}26} = 86\ cm.$$

Napeto uže sukano od usučaka proteže se opet više od spiralnog užeta, jer se pojedini usučci utiskuju u podatnu konopnu jezgru. Za cvu vrst žičnog užeta formula 6.) vrijedi takodjer, no Bachov broj uzima se tek sa $\sigma = 7/8 = 0{,}375$ u račun. Na primjer :
Pogonsko uže pleteno po formuli $K + 6(1+6)_{14}$ promjera $d = 13\,mm$, metalnog prosjeka $F_m = 0{,}65\,cm^2$ napeto sa silom $S = 1139\,kg$ a 453 m. dugačko proteglo se ukupno za iznos:

$$\lambda = \frac{1139 \cdot 453 \cdot 10^2}{0{,}375 \cdot 21 \cdot 10^5 \cdot 0{,}65} = 101\,cm.$$

Naprezanje potezanja računa se za svako uže po formuli 2.) :

$$\sigma_m = \frac{S}{F_m} \cdot \qquad 7.)$$

Ova formula daje prilično sukladnu vrijednost sa stanjem u istinu za masivnu žicu / uže / i za uže sukano od usučaka oko konopne jezgre. Pojedine žice u spiralnom užetu uistinu nijesu jednako naprezane. One bliže jezgri naprezane su više, a one bliže površini užeta manje. Praktički ipak se računa sa prosječnim i jednako velikim naprezanjem u svim žicama s razloga, što spomenute diferencije u naprezanjima uz valjanu izvedbu nijesu toliko velike, da bi imale praktičko značenje.
Na napetom užetu nosaču nadzemnih žičara putuje koristan teret redovno na točkovima. Svaki točak djeluje na napeto uže kao koncentričan teret Q, te se uže pregiba pod njim. Osim čistog naprezanja potezanja zbog napetosti nastaje u užetu dakle još i naprezanje pregibanja zbog točka. Koliko je naprezanje pregibanja uistinu, kako se rasprostranjuje, do danas nije riješeno na posve bezprikoran način, zbog kompliciranosti konstrukcije užeta nosača, pa zbog i drugih još prilika, uz koje nastaje. Svakako je najveće neposredno ispod točka, zavisi dakle o veličini pritisku točka, pa o pregibnom kutu užeta ispod točka.
Danas se redovno računa ovo naprezanje po formulama izvedenima najprije po Ing. I. Isaachsen-u, a poslije još nješto preinačenima po prof. Findeisu.
Za žicu masivnog prosjeka / masivna metalna žica / takova formula za naprezanje pregibanja glasi :

$$\sigma_p = \frac{d}{4} Q \sqrt{\frac{E}{JS}} \cdot \qquad 8.)$$

Budući prosjek metalne žice mjeri $F = \frac{\pi d^2}{4}$, a momenat ustrajnosti: $J = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{d^2}{16} \cdot F$, nadalje budući je napetost u žici $S = F.\sigma_m$, to se gornja formula može pisati i ovako:

$$\sigma_p = \frac{Q}{F}\sqrt{\frac{E}{\sigma_m}} \cdot \qquad 9.)$$

U ovoj formuli označuje: Q pritisak točka / koncentričnog tereta /, zbog kojeg nastaje naprezanje pregibanja σ_p; E modul elastičnosti materijala, a σ_m naprezanje potezanja zbog napetosti S u žici, metalnog prosjeka F.

Ova se formula primjenjuje i na spiralno žično uže, sukano od više žica, tek se namjesto punog prosjeka užeta / F / uzima u račun njegov metalan prosjek / F_m/, dakle:

$$\sigma_p = \frac{Q}{F_m}\sqrt{\frac{E}{\sigma_m}} \cdot \qquad 10.)$$

Uz isti pritisak Q naprezanje pregibanja je to manje, što je uže jače napeto /σ_m/ i što je većeg prosjeka / F ili F_m/.

Ukupno naprezanje u napetoj žici ili u napetom užetu, koje se još i pregiba pod koncentričnim teretom Q, po zakonu superpozicije mjeri : $\sigma = \sigma_m + \sigma_p$. 11.)

Naprezanje u pogonskom užetu, dakle u užetu sukanom od usučaka, danas se redovno računa po formuli :

$$\sigma = \frac{S}{F_m} + E \cdot \frac{\delta}{D} \cdot \qquad 12.)$$

Prvi član ove jednadžbe daje čisto normalno naprezanje u užetu, metalnog prosjeka F_m, ako je napeto sa napetošću S ; drugi član pak daje naprezanje pregibanja, koje nastaje, ako je uže osim toga još i ovito oko vitla / točka / promjera D ; E označuje modul elastičnosti, a δ promjer žica, od kojih je uže sukano. Ovaj drugi član, t.zv. Heuleaux-ova formula, izlazi iz poznate jednadžbe naprezanja pregibanja : $\sigma = \frac{M}{J} e$,

ako se stavi $e = \frac{1}{2}\delta$, dakle : $M = \sigma \frac{2J}{\delta}$,

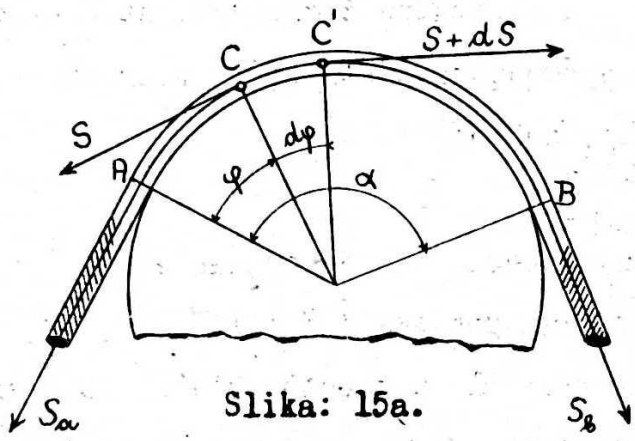
pa iz poznatog snošaja $\frac{1}{\rho} = \frac{M}{JE}$, ako se stavi $\rho = \frac{1}{2}D$ dakle:

$$M = \frac{2JE}{D} \cdot$$

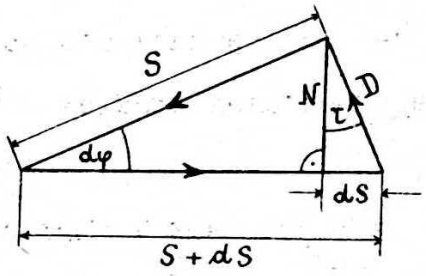
Izjednačenjem obaju izraza za M, izlazi za čisto naprezanje pregibanja : $\sigma = E \cdot \frac{\delta}{D} \cdot \qquad 13.)$

Formula, uz ovakove pretpostavke, ima naravno tek približnu no praktički dovoljno tačnu vrijednost.-

Napeto žično uže žičara često je omotano oko vitla / točka /. Budući vlada trenje /μ koeficijenat trenja / izmedju užeta i vitla / točka /, često se pita : u času ravnoteže, u kojem snošaju stoji napetost S_α, sa kojom dolazi uže na vitao / točak / i napetost S_β, sa kojom silazi sa vitla /točka /. U tačci C /slika 15a/napetost užeta neka mjeri S. Potežemo li uže u smjeru AB, narast će napetost u užetu u tačci C' na iznos $S+dS$ i to zbog trenja, koje pre-



Slika: 15a.



Slika: 15b.

dočuje diferencija dS. Na izrezan / u duhu / komadićak užeta CC' djeluju dakle ove sile : napetost S i u suprotnom smjeru napetost $S+dS$ pak zbog pritiska užeta nastala reakcija vitla D. Vektorpoligon tih sila u slučaju ravnoteže mora biti zatvoren / sl.15b /. Kad ne bi bilo trenja, reakcija D imala bi smjer okomit na podlogu t.j. smjer polumjera vitla. Zbog trenja ali ona je otklonjena od tog smjera i to na granici ravnoteže upravo za kut trenja τ. Nastavimo li dakle reakciju D u komponente, od kojih jedna /N/ pada u smjer normale vitla, a druga u smjer tangente, posljednja identična je sa porastom dS napetosti S, zbog trenja. Teži li kut $d\varphi$ k nuli, komponentu N možemo smatrati i lukom centričnog kuta $d\varphi$. Onda je / isp.sl.15b /: $N=S\cdot d\varphi$ i nadalje $dS=\mu N=\mu\cdot S\,d\varphi$ dakle:

$$\frac{dS}{S}=\mu\,d\varphi .$$

Integriramo li ovu diferencijalnu jednadžbu u granicama :

$$\int_{S_\alpha}^{S_\beta}\frac{dS}{S}=\mu\int_{\varphi=0}^{\varphi=\alpha}d\varphi$$

dolazimo do traženog snošaja :

$$\ln S_\beta-\ln S_\alpha=\mu\alpha\,,\qquad S_\beta=S_\alpha\cdot e^{\mu\alpha}\,. \qquad 14.)$$

Veća sila S_β raste vrlo brzo sa kutem omatanja α. Uz dovoljno

veliku vrijednost tog kuta i koeficijenta trenja neznatna sila S_a može podržavati ravnotežu sa razmjerno velikom silom S_b, kako se vidi iz priložene tablice :

α	$e^{\mu\alpha}$				
	$\mu = 0,1$	0,2	0,3	0,4	0,5
π (poluomot)	1,37	1,87	2,57	3,51	4,81
2π (potpuni omot)	1,87	3,51	6,59	12,35	23,14
$3\pi = 9,42478$	2,57	6,59	16,90	43,38	111,3
4π (dvostruki omot)	3,51	12,35	43,38	152,4	535,5

Već prema tome, da li se uže i vitao nalaze u relativnom stanju mirovanja, dotično gibanja, uvršćuje se u gornju jednadžbu vrijednost koeficijenta trenja mirovanja dotično gibanja. Ta je vrijednost najmanja, ako je površina vitla glatka, a raste, ako je narovašena tako, da svaki omot užeta leži u zasebnoj užljebini. Ako su stijene užljebina nagnute pod kutem od 60^0, trenje se gotovo podvostručuje. Na formuli 14)bazira takodjer kočnica: oko vitla obavita čelična vrpca, koja se s pomoću poluge priteže po potrebi / die Einfache u. Differential - Bandbremse /, a upotrebljava se često kod šumskih žičara.-

c. Čekrk i uspinjača.

1. Princip. Treba li u kratkom razmaku svladati razmjerno veliku visinsku razliku, transportirajući šumske produkte svedjer još na zemlji, ekonomično i svrsi shodno upotrebljava se u šumarstvu / naročito kod intenzivnije eksploatacije / čekrk, ako se roba spušta nizbrdo, a uspinjača, ako se diže uzbrdo. U jednom i drugom slučaju teret se kreće s pomoću točkova / kolica / više ili manje posredno na tračnicama / šinjama /, na gornjem i na donjem stroju, dakle na pruzi izgradjenoj u čvrstom tlu, slično kao kod željeznica. Razlikuju se od ovih po načinu pogona. Kod čekrka natovarena

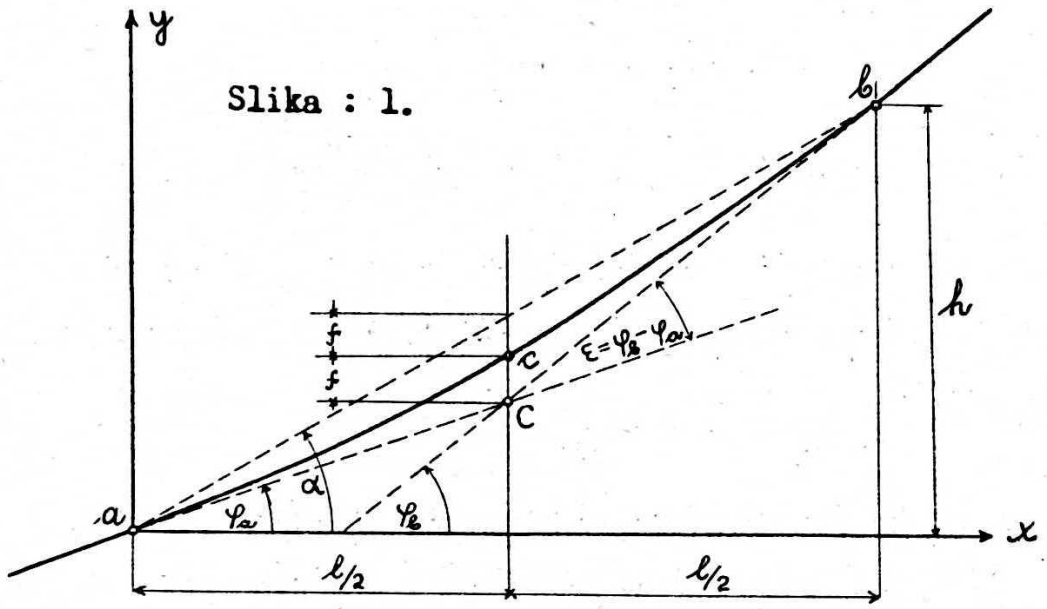
kolica spuštajući se nizbrdo istodobno dižu prazna kolica uzbrdo s pomoću žičnog užeta, sprovedenog na gornjem kraju pruge oko vitla, udešenog tako, da se brzina kretanja regulisati može. Čekrk pogoni dakle samo gravitacija. Kod uspinjače prazna kolica spuštajući se nizbrdo ne dostaju naravno da dignu natovarena kolica uzbrdo, nego je potrebna još druga koja vještačka pomoć: parna, električna sila, vodna snaga, a i gravitacija može se iskoristiti u tu svrhu prema prilikama na zgodno iskombinirani način.

Snaga stroja prenosi se na kolica uspinjače jednako s pomoću žičnog užeta kao kod čekrka.

2. Linija čekrka i uspinjače zbog užeta treba da je u pravilu pravac najmanjeg nagiba cca 15 % a rijetko većeg nagiba od 60 % . U situaciji / tlocrtu / linija pokazuje gdjekad i krivulju opravdano, ako krivulja ima očitu ekonomsku prednost pred pravcem ili ako lokalne prilike pravac isključuju uopće. Svakako takova krivulja treba da je po mogućnosti blage krivosti,da odmiče od pravca po mogućnosti što manje. Po dosadašnjem iskustvu manji polumjer krivosti od 120 m. u situaciji ne valja upotrijebiti. Pravilno vodjenje pogonskog užeta otešćano je s tim više,što je odmicanje linije od pravca veće. Osim toga krivulja povećaje otpor kretanja, kod uspinjače poskupljuje dakle pogon. Apsolutna jednoličnost nagiba duž cijele linije takodjer nije bezuvjetno potrebna. Odmaci od osrednjeg nagiba smetaju to manje, što su manji. Svaki lom nagiba treba ublažiti prelaznom krivuljom / lukom kružnice, kvadratičnom ili kubičnom parabolom /. Na lomu nagiba, koveksnom prema gore, jače pritiskuje uže na podložne valjčiće nego u pravcu i zbog toga se povećaje napetost u njemu. Na lomu nagiba,konkavnom prema gore, diže se uže sa podložnih valjčića i gubi povod. Na čekrku, na kojem vise puna i prazna kolica na jednom i drugom kraju konačnog užeta, a ovo obilazi vitao na gornjoj stanici / der Pendelbetrieb /, puna kolica spuštajući se nizbrdo ne dižu samo prazna kolica nego i s ovima skopčano dosta teško pogonsko uže. Budući je ovo najduže, kad se puna kolica nalaze na gornjoj, a prazna na donjoj stanici,

sa gledišta jednolične pogonske snage zapravo je poželjno, da je nagib linije uz gornju stanicu veći, da pada prema donjoj stanici u skladu sa skraćivanjem užeta na putu praznih kolica. Kad se ova približuju gornjoj stanici dolaze doduše na sve strmiji potez na ovaj način. No zato, na drugoj strani, uže natovarenih kolica biva sve duže, te svojom težinom povećaje pogonsku snagu to većma, što se više puna kolica približuju donjoj stanici. Pokazuje li pak linija čekrka ili uspinjače krivulju u uzdužnom profilu bit će od potrebe ispitati njezinu krivost, kako bi se steklo uvjerenje, da pogonsko uže sigurno leži na valjčićima. Postupit se može ovako :

Slika : 1.



Slika 1. predočuje dio linije u kome se sijeku dva pravca / ac i Cb / raznog nagiba / $tg\varphi_a$ i $tg\varphi_b$ /. Pita se koliko treba da mjeri najmanji polumjer krivosti prelazne krivulje acb, da pogonsko uže sigurno leži na valjčićima / na pruzi / ?

Napeto pogonsko uže zbog vlastite težine poprima oblik krivulje, lančanice ili praktički dovoljno tačno oblik užnice - parabole. Parametar takove užnice mjeri / vidi formulu 21) u poglavlju " Teorija žičara " /:

$$a = \frac{H}{p} = \frac{S_a \cos\varphi_a}{p} = \frac{S_a}{q} \cdot \cos\alpha \cdot \cos\varphi_a \,. \qquad 1.)$$

U ovoj formuli označuje g jediničnu težinu pogonskog užeta / kg/m /, a S_a napetost u njemu, u najnižoj tački a prelazne krivulje /acb/, koju smatramo za čas identičnom sa užnicom - parabolom. Onda je:

$$tg\varphi_a = \frac{h}{l} - \frac{l}{2a} \; ; \qquad tg\alpha = \frac{h}{l}$$

$$tg\varphi_b = \frac{h}{l} + \frac{l}{2a}$$

/ slijedi iz jednadžbe 23.) spomenutog poglavlja, za $x = 0$, dotično za $x = l$ /. Iz ovih pak jednadžbi izlazi :

$$tg\alpha = \frac{h}{l} = \frac{1}{2}(tg\varphi_b + tg\varphi_a) \qquad 2.)$$

$$\left.\begin{aligned} \frac{l}{a} &= tg\varphi_b - tg\varphi_a \\ \text{ili :} \quad a &= \frac{l}{tg\varphi_b - tg\varphi_a} \end{aligned}\right\} \qquad 3.)$$

Obzirom na jednadžbu 1.) treba onda da je parametar parabole a ili :

$$\frac{l}{tg\varphi_b - tg\varphi_a} \geqq \frac{S_a}{g} \cdot \cos\alpha \cdot \cos\varphi_a$$

i nadalje :

$$l \geqq \frac{S_a}{g}(tg\varphi_b - tg\varphi_a)\cos\alpha \cdot \cos\varphi_a \; . \qquad 4.)$$

Najmanji polumjer krivosti užnice parabole je $\varrho_{min} = a$, a najveći nalazi se u njezinoj najvišoj tački b, te mjeri / formula 36.) spomenutog poglavlja /:

$$\varrho_b = a \cdot \sec^3\varphi_b \; . \qquad 5.)$$

Uže leži dakle sigurno na krivulji acb, ako je njezin najmanji polumjer krivosti $R_{min} \geqq \varrho_b$ / po jednadžbi 5./, dotično, ako je njezina horizontalna projekcija duža od dužine l / po jed. 4./ .

Primjer . Zadano je :

$$\frac{S_a}{g} = \frac{2.500\ kg}{1,92\ kg/m} = 1302\ m;$$

$$tg\varphi_b = 0,47; \qquad \cos\varphi_b = \frac{1}{\sqrt{1 + tg^2\varphi_b}} = \frac{1}{\sqrt{1,2209}} = 0,90503$$

$$tg\varphi_a = 0,40; \qquad \cos\varphi_a = \frac{1}{\sqrt{1 + tg^2\varphi_a}} = \frac{1}{\sqrt{1,16}} = 0,92848$$

$$tg\alpha = \frac{1}{2}(tg\varphi_b + tg\varphi_a) = \frac{1}{2}\,0,87 = 0,435.$$

$$\cos\alpha = \frac{1}{\sqrt{1+tg^2\alpha}} = \frac{1}{\sqrt{1,189225}} = 0,91700.$$

$$a = \frac{S_a}{g} \cdot \cos\alpha \cdot \cos\varphi_a = 1302 \cdot 0,917 \cdot 0,92848 = 1108,5\,m.$$

$$l = a(tg\varphi_b - tg\varphi_a) = 1108,5 \cdot 0,07 = 77,6\,m.$$

$$\varrho_b = a\sec^3\varphi_b = \frac{a}{\cos^3\varphi_b} = \frac{1108,5}{0,90503^3} = 1495\,m.$$

Dužina krivulje treba dakle da mjeri najmanje 77,6 m. u horizontalnoj projekciji, a najmanji polumjer krivosti treba da mjeri barem 1495 m. Odaberemo li za prelaznu krivulju luk kružnice polumjera $R = 1500$ m., dužina tangenata toga luka mjeri :

$$T = ac = cb = R\,tg\,\frac{1}{2}\varepsilon$$

$$\varepsilon = \varphi_b - \varphi_a = 25°10' - 21°48' = 3°22'$$

$$tg\,\frac{1}{2}\varepsilon = tg\,1°41' = 0,0294$$

$$T = 1500 \cdot 0,0294 = 44,1\,m.$$

$$T\cos\varphi_a = 44,1 \cdot 0,92848 = 40,9\,m > \frac{l}{2} = 38,8\,m.$$

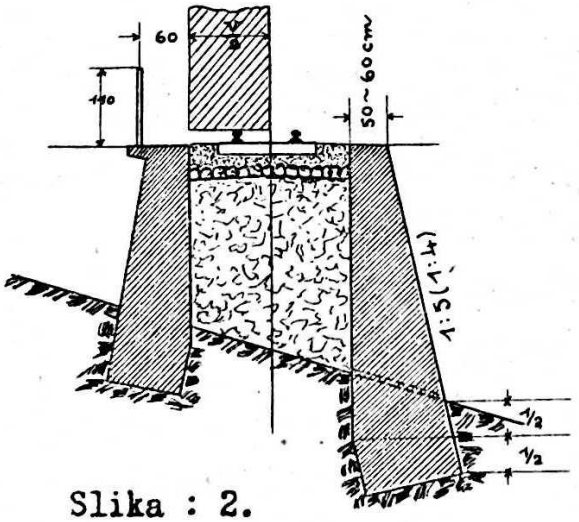
Dužina tangente T odredjuju početnu /a/ i završnu tačku /b/, a ostale potrebne još tačke luka kružnice kao prelazne krivulje mogu se iskolčiti na poznat način.

Manji lom nagiba linije čekrka ili uspinjače ublažuje se zbog toga sa lukom kružnice polumjera krivosti rijetko manjeg od 2000 m. Veći lom nagiba svakako treba ispitati na ovaj način, pa tek onda se odlučiti za oblik i krivost prelazne krivulje. Gdjekad linija pokazuje zbog većeg loma oblik krivulje na cijeloj svojoj dužini ; dapače ima i slučajeva, u kojima se veći nagib nalazi na donjem a manji na gornjem kraju linije. Ovo posljednje svakako povisuje gradjevni trošak / jače uže / i trošak pogona.

3. Donji stroj izvodi se u glavnom jednako kao kod željezničke pruge. Veće zemljoradnje treba izbjegavati. Pruga treba da leži na čvrstom tlu, zbog toga izbjegavaju se nasipi. Plitak usjek u jednom naravnom tlu najbolji je donji stroj čekrka ili uspinjače. Manji nasipi mogu se izvoditi, ako su solidno osigurani od izmica-

nja i deformacija / fundirani u stepenicama /. Naročitu pažnju treba obratiti valjanoj i izdašnjoj obrani kao od nadzemne tako i od podzemne vode. U poprečnom prosjeku donji stroj čekrka i uspinjače pokazuju dakle jednaki oblik, te se izvodi takodjer na jednaki način kao kod željezničke pruge. Dimenzije donjeg stroja zavise naravno, osim o dubini usjeka, dotično visini nasipa, pa obliku tla, još i o broju pruga pa o širini kolosjeka.

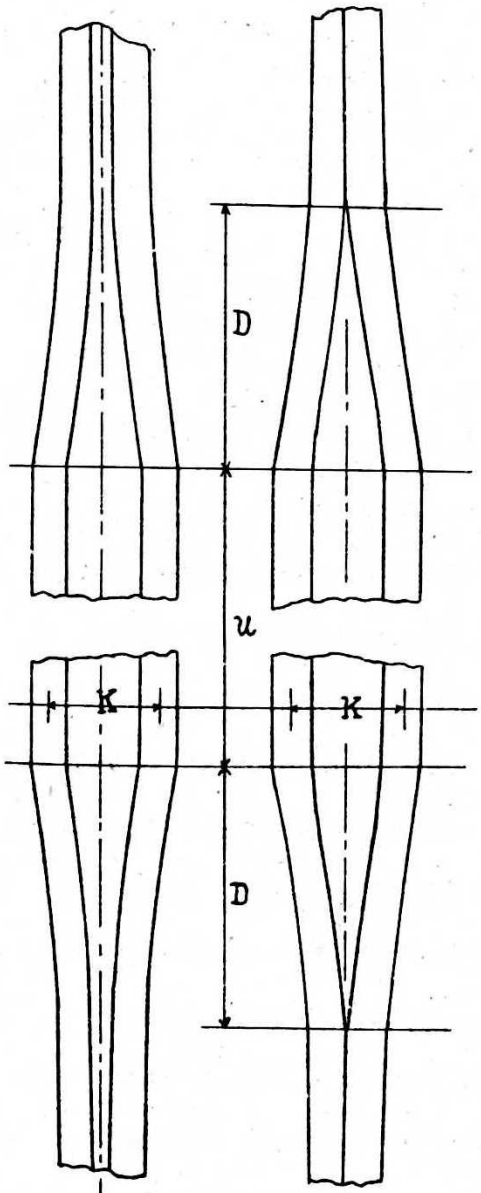
Objekti za osiguranje izvedenih zemljoradnja podižu se jednako kao kod željezničke pruge. Naročito propusti prema potrebi, potporni i obložni zidovi, pa i sve druge zaštitne naprave. Veće uvale, namjesto visokim nasipom, premošćuju se drvenim, kamenim, betonskim objektima ili objektima mješovite gradje. Kraće i ne odviše visoke uvale mogu se premostiti i nasipom stiješnjenim medju dva potporna zida, ako nasip ima dovoljno čvrsto uporište na nizbrdnom svom kraju na naravnom tlu / sl.2 /. Uz gornji stroj lijevo i desno svuda treba osigurati pješačku stazu, barem 60 cm. široku u svrhu mogućnosti obilaženja pruge i za vrijeme prometa. Ukupni pak prostor potrebno je ograditi ogradom, na jednom i drugom vanjskom rubu, da se spriječe nesreće.



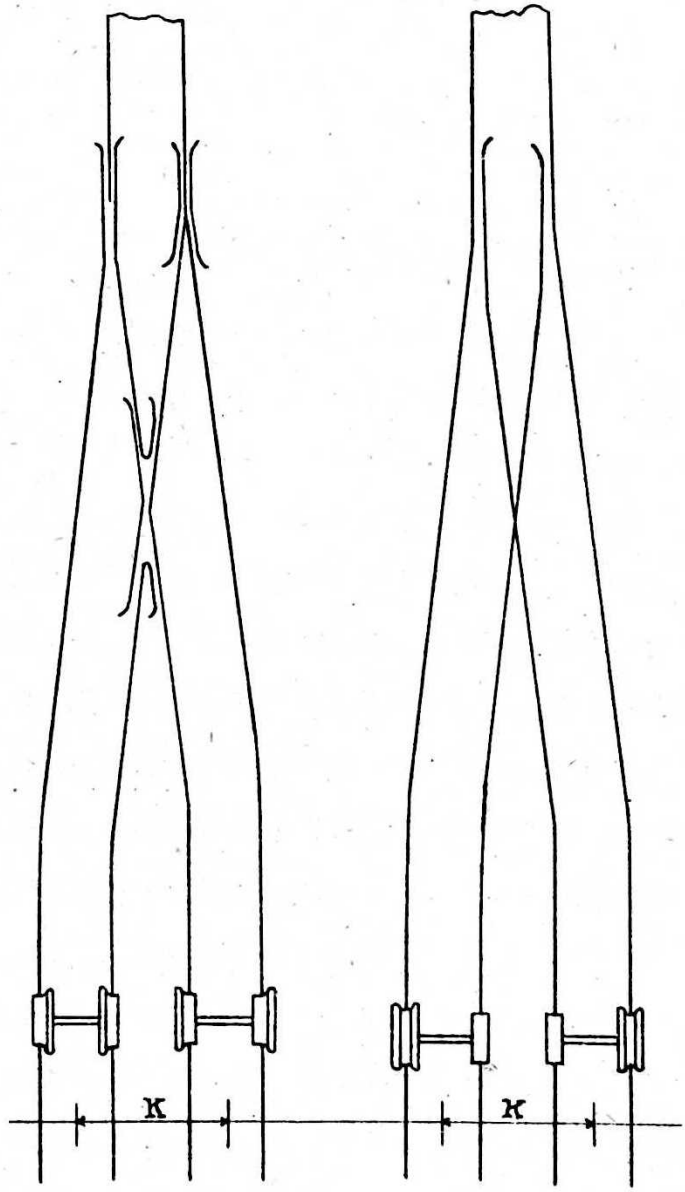
Slika : 2.

4. Gornji stroj normalno sastoji od steljišta pragova, tračnica, kao kod željezničke pruge, pa još i od specijalnih naprava i uredjaja. Na kraćim potezima polažu se na dogotovljeni donji stroj redovno dvije paralelne pruge, naskroz u jednakom i dovoljno velikom razmaku, da se puna i prazna kolica nesmetano mimoilaze. Na dužim potezima, da se uštedi na troškovima, u tom razmaku / K sl.3a / polažu se pruge tek u sredini linije, na ugibalištu, gdje se mimoilaze puna i prazna kolica. Izvan ugibališta primaknu se obje pruge toliko blizu, koliko dozvoljava solidno učvrš-

ćenje obiju nutarnjih tračnica na pragove. Gibaju li se jedna i druga kolica jednakom brzinom, ukrštavaju se tačno u polovici linije. Dužina ugibališta u treba dakle da mjeri barem koliko i dužina voza, a dodaje se toj dužini još i izvjestan dodatak za svaku sigurnost. Dužina poteza D , u kojem ulazi jedna i druga pruga u ugibalište, pa izlazi iz njega, zavisi o širini kolosjeka. Jedan i drugi luk tog poteza izvodi se sa minimalno dozvoljenim radijem, a umeće se još izmedju oba luka, jer su suprotnog smjera, pravac, dugačak barem koliko je voz dugačak. Na ugibalištu svaka pruga leži na svojim pragovima, izvan ugibališta na zajedničkim. Još veća ušteda na gradjevnim troškovima postizava se, ako se gradi pruga izvan ugibališta samo sa tri tračnice / sl.3b /. Srednja tračnica je zajednička u



Slika : 3a.



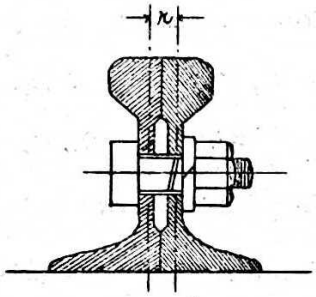
Slika : 3b.

Slika : 4a.

Slika : 4b.

tom slučaju, pripada jednoj i drugoj pruzi. Pred ugibalištem razdvaja se u dvije tračnice na način predočen na slici 5. Nutarnje tračnice ugibališta primiću se jedna drugoj, dok razmak njihovih osovina ne bude $\mathcal{N}=0$. Na tom mjestu započinje nutrašnja zajednička tračnica obiju pruga. Nutrašnje tračnice ugibališta potsječene su pa izdjelane prema tome naravno na potrebnu dužinu. Na ovaj način mora se voditi pogonsko uže nješto više nad pragovima / jer prelazi preko tračnica u prometu /, visinski leži dakle bliže mjestu, na kojem je pričvršćeno na kolica i zbog toga vodjeno je sa manje promjena u prometu, prema niže montiranom užetu paralelnih pruga. Iako se zajednička tračnica dvostrukom uporabom pod prometom brže troši od vanjskih tračnica, ovaj je način montiranja pruge na odužem čekrku ili uspinjači u šumarstvu najčešći, najobičniji, jer je ekonomičan i jednostavan.-

Slika : 5.



U težnji za što većom uštedom na troškovima donjeg stroja, na donjoj strani čekrka, ispod ugibališta, izvodi se gdjekad samo jedna, zajednička pruga. U takovom slučaju potrebna je ali skretaljka i stalno namješteni skretničar, koji upravlja skretaljkom za vrijeme pogona. No postoje i skretaljke, koje propuštaju kolica u odredjeni kolosjek ugibališta automatski, bez pomoći naročitog skretničara. Na šumskim čekrcima ili uspinjačama bilo kakove skretaljke jedva se ali upotrebljavaju uopće. Ing. Abt osnovao je na gornjem i donjem dijelu izvan ugibališta samo po jednu dvotračnu zajedničku prugu i postigao automatsko skretanje punih i praznih kolica u ugibalištu, pa iz njega, s pomoću zgodno konstruiranih šinja vodilica i naročito udešenih točkova potkolica. Po jednom aranžmanu, predočenom na sl.4a , točkovi jednih potkolica imaju obrubne vijence samo s unutarnje strane, a drugih potkolica samo sa vanjske strane. Po jednostavnijem drugom aranžmanu sl.4b, vanjski točkovi jednih i drugih potkolica imaju dvostruke obrubne vi-

jence, a unutarnji točkovi nemaju obrubnog vijenca uopće. Automatsko ulaženje potkolica u ugibalište, pa izlaženje iz njega, lako se prati i razabire iz samih slika. Nijedan ni drugi aranžman nije prodro općenito, a u šumske svrhe nijesu zgodni većni zbog toga, što iziskuju naročito izradjene dijelove pruge, pa specijalne točkove. Uzdržavanje pa izmjena ovakovih naročitih dijelova skopčana je redovno sa poteškoćama.

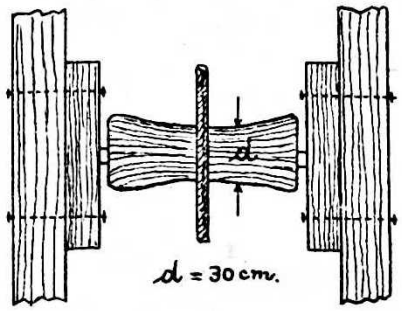
Kolosjek pruge čekrka i uspinjače jednak je kolosjeku ostalih šumskih pruga istog, eksploatacionog područja, ako se kolica kreću neposredno na tračnicama. Redovno dakle $k = 0{,}76$ m. Na taj način mogu se svi vagoneti normalne šumske pruge spuštati niz čekrk, dotično uspinjati na uspinjači, a otpada sposebnim troškovima skopčano pretovarivanje robe u specijalna kolica čekrka ili uspinjače. Neposredno na pruzi sigurno se ali kreću natovarena kolica samo uz nagib $tg\varphi \leq 0{,}40$. Uz veći nagib $tg\varphi > 0{,}40$, da se ne rasipava natovarena roba, da se poštede kolica od anormalnog naprezanja, zbog jako nagnutog položaja, upotrebljavaju se naročito konstruirana potkolica, koja se neposredno kreću na pruzi, a tek posredno na ovima natovareni normalni šumski vagoneti / isp. sl.10 i 11 /. U takovom slučaju kolosjek pruge čekrka / uspinjače / je širji od kolosjeka šumske pruge, mjeri redovno $k = 1{,}0$ m.

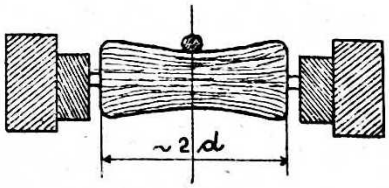
Tračnice šumskih čekrka i uspinjača redovno su Vignol-šinje, normalnog oblika ; spajaju se, pričvršćuju se na drvene pragove, a ovi se opet u steljište jednako kao kod običnih šumskih pruga, ako nagib linije ne premašuje cca 40 %. Uz ovaj ili još nješto veći nagib namjesto drvenih pragova bolje podržavaju prugu u steljištu, željezni pragovi, izradjeni od profilovanog Zore-željeza / Belageisen /, oblika , po tekućem metru 7 do 10 kg. teškog. Osim toga, steljište leži mnogo mirnije i sigurnije, ako se paralelno sa prugom omedjuši s jedne i s druge strane još i sa zidom, u vrhu cca 50 cm. jakim , podignutim na dovoljno dubokom temelju, izradjenom u obliku stepenica, u jedrom naravnom tlu. Vrh zida treba da leži u visini gornje površine praga, a izgraditi se može i

na suho, naročito u kraju, koji obiluje kamenom. Heške na vidljivim površinama dobro je zapuniti cementnim mortom, pa zagladiti. Kod većeg nagiba od 50 % ne leži pruga sigurno na ovaj način. Da se spriječi njezino omicanje bit će od potrebe zidati donji stroj na cijelu širinu pruge. Na zidani donji stroj s pomoću uzidanih svornica pričvrste se zatim - u ovom slučaju svrsi shodnije - uzdužne podvale, a na ove tračnice, koje su opet na svakom stiku naročitim svornicama, usadjenima u podvale, osigurane od omicanja. Namjesto zidanog donjeg stroja mogu poslužiti i jarmovi t.j. u primjerenim razmacima u jedro tlo zabijene pilote providjene sa glavnjicom, na kojoj počivaju uzdužne podvale sa tračnicama. Tračnice mogu i otpasti u takovom slučaju / kod manjih uredjaja / , ako se podvale okuju s gornje strane sa plosnatim ili kutnim željezom.- Vrlo strme linije redovno su i kratke, zbog toga, pa i zbog opisanih konstruktivnih prilika, odgovaraju im dvije zasebne i paralelne pruge ponajbolje. Prosječan nagib dugačkih linija / > 100 m. / ekonomičkih razloga radi, treba dakle da je umjeren, svakako manji od 50 %.

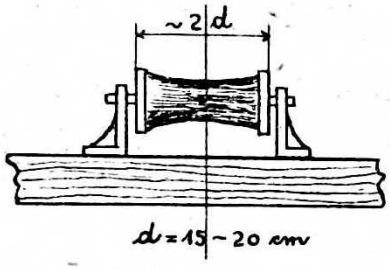
Pogonsko uže treba voditi i poduprijeti, da se giba u odredjenom smjeru, da ne puže po tlu i pragovima, da ne slabi od habanja i da ne uzrokuje suvišno trenje u pogonu čekrka ili uspinjače. Počiva zbog toga na pokretljivim valjčićima, točkovima, montiranima duž pruge na pragovima, već prema krivosti linije i napetosti užeta, u većim ili manjim razmacima od 8 do 20 m. Slika 6 predočuje drveni valjčić 25 do 35 cm. promjera, dugačak cca 2 promjera, medju uzdužnim podvalama kraće uspinjače / sl.6a u situaciji, a 6b u prosjeku /. Na poprečnim pragovima u pravcu upotrebljavaju se drveni ili željezni valjčići izradjeni prema sl.7, montirani u sredini kolosjeka. Uz smještenje pruga sl. 3 i 4 uže, prolazeći zajedno sa kolicama kroz ugibalište, mjenja smjer, silazi sa jednih valjčića i uspinje se na druge; da se pri tom haba što manje, pričvršćuju se uz valjčiće zgodno istesane gredice / G sl.8 /, koje olakšavaju ujedno silaženje pauzlaženje užeta. Zbog dijela pruge ispod ugibališta, potrebno je smještati valjčiće ne samo unutar kolosjeka, nego i unutar pruga na

Slika : 6a.

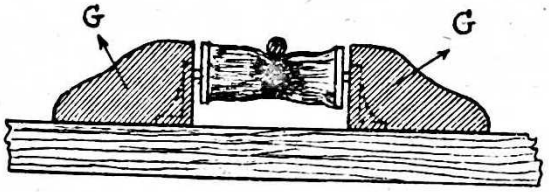




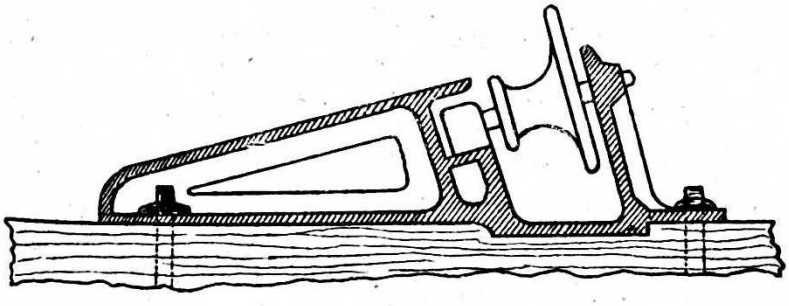
Slika : 6b.



Slika : 7.



Slika : 8.

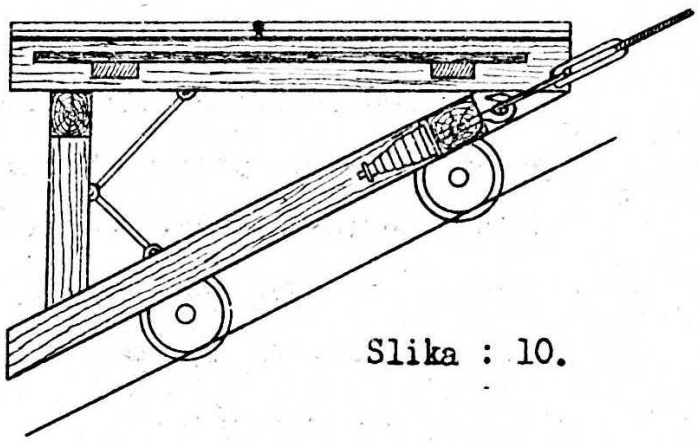


Slika : 9.

ugibalištu. Leži li pruga u krivulji, potrebni su naročiti, snažni, redovno željezni valjčići izradjeni pp. prema sl.9 ili valjci sa vertikalnom osovinom, naizmjence sa ovima, ili naizmjence sa onima prvima, horizontalne osovine. Drveni valjčići redovno se okreću oko čvrste osovine / 20 - 30 mm. jake / jer se tako manje troše.

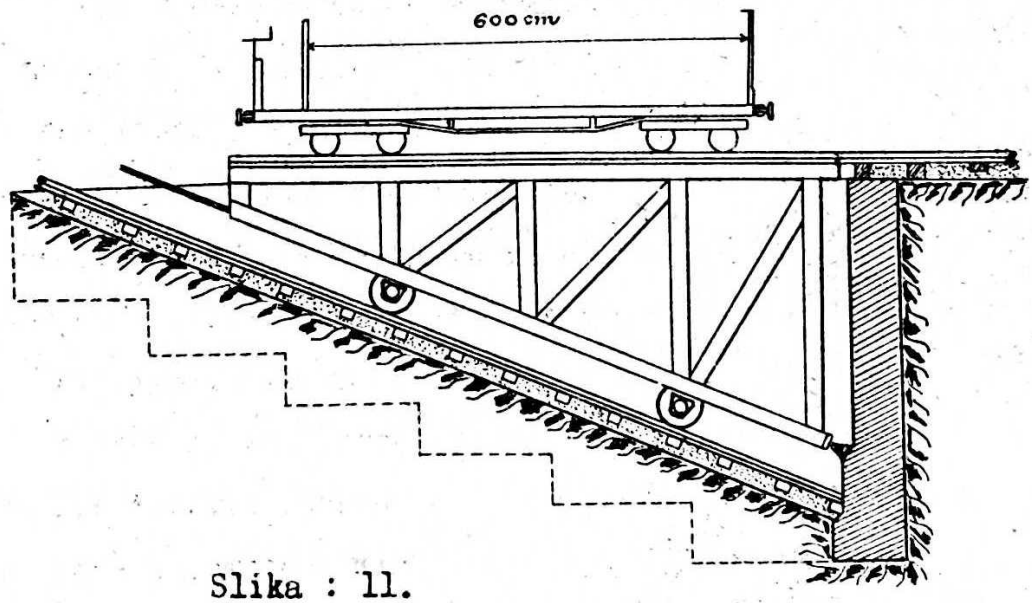
5. Ostali uredjaji.

Hekli smo na nagibu većem od 40 % potrebna su naročita potkolica. Grade se redovno od drva, da se što manje opterećuje uže. Sastoje se od dva glavna nosača rešetkaste gradje / sl. 10 i 11 / trokutnog / trapeznog / oblika. Dimenzije upotrebljene četverobridne drvene gradje kreću se od 14/14 do 20/20 cm., već prema veličini potkolica. Pojedini dijelovi glavnih nosača medjusobno su spojeni čvrstim željeznim sponama, a sami nosači ukrućeni su prečagami, kosnicama i železnim sponama još i u poprečnom smjeru. Na horizontalnom gornjem dijelu kolica



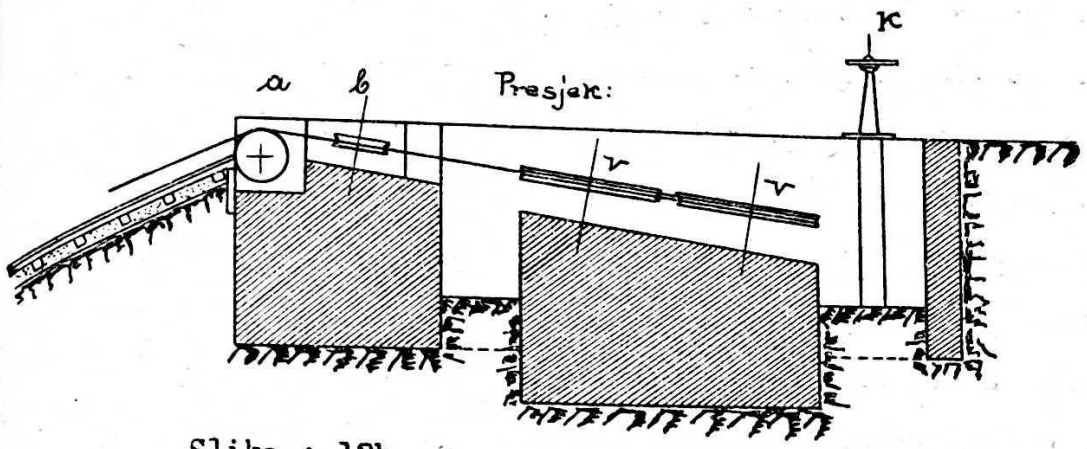
Slika : 10.

su popodjena, a na glavnim nosačima montirane su tračnice zajedno sa napravama, koje osiguravaju stabilan položaj šumskih vagoneta na njima. Kolosjek tračnica na potkolicama jednak je kolosjeku šumskih pruga, koje čekrk ili uspinjača spaja. Gornja i donja stanica udešena je zbog toga tako, da tračnice na potkolicama tačno pristaju uz tračnice šumske pruge. Pogonsko uže povezano je sa potkolicama elastično; da se pak osigura tačno pristajanje potkolica uz čeoni zid gornje i donje stanice, uz elastično pero na potkolicama montirana je i naprava, s kojom se reguliše dužina pogonskog užeta tako,

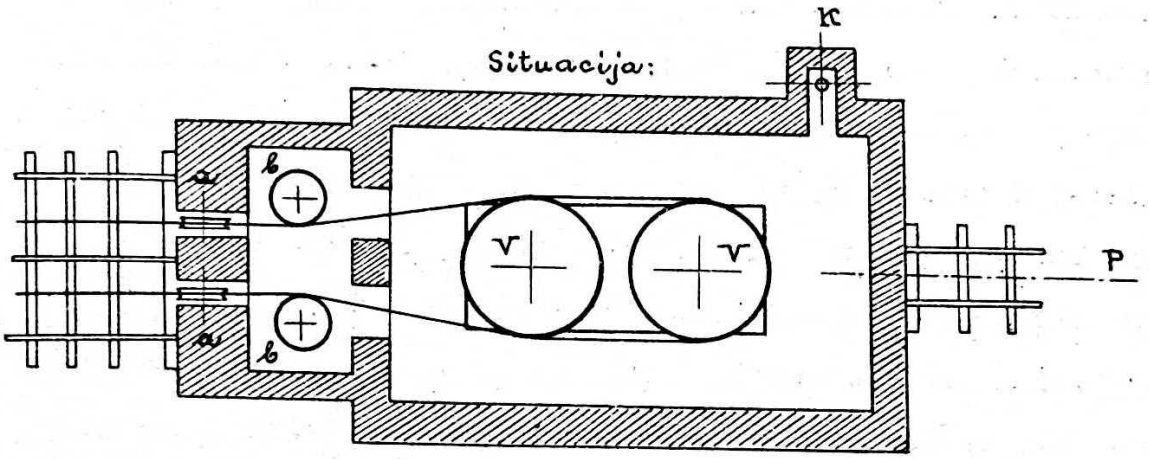


Slika : 11.

da mjeri posve odredjeni iznos u svako doba. S vremenom i prometom naime uže mijenja dužinu. Odbojna elastična pera redovno nijesu montirana na potkolicama, nego na čeonim zidovima stanica. Dužina, a prema tome i veličina potkolica zavisi o intenziteti prometa. Redovno su udešena tako, da ima prostora na njima za dvostruki vagonet



Slika : 12b.



Slika : 12a.

natovaren sa dugim drvom. Razmak osovina potkolica znatno je veći od razmaka osovina običnih šumskih pruga. Dosiže i pres-iže razmak osovina javnih normalnih pruga. Minimalna vrijednost polumjera krivosti pruge čekrka, na kome prometu potkolica, daleko dakle presiže takovu minimalnu vrijednost običnih šumskih pruga. Kako minimalan polumjer krivosti raste sa razmakom osovina vidi se iz tablice, priopćene na str. 504 I - vog dijela ovih predavanja. Upotrijebit pak valja uistinu još i veći polumjer od minimalnog, zbog nastojanja, da se otpori na pruzi smanje što više, a isto tako, da se poluči što bolji povod pogonskog užeta. Uz razmak osovina potkolica, na pr. 3,90 m., prema rečenoj tablici, minimalan polumjer krivosti mjeri 180 m. Treba li dakle vodit liniju čekrka u krivulji, upotrijebit će se polumjer krivosti po mogućnosti još veći od ovog.

U slučaju potkolica donja stanica čekrka ili uspinjače upuštena je je u tlo za visinu potkolica tako, da tračnice na potkolicama, kad ova pristanu, leže u visini priključene normalne šumske pruge. Zbog

toga je pruga čekrka / uspinjače / u najdonjem dijelu, u kojem silazi ispod razine tla, obzidana zidovima po stranama i na kraju /sl.11/. Kod čekrka / uspinjače /, koji radi bez potkolica, donja pruga prelazi u šumsku prugu normalnog nagiba s pomoću vertikalnog luka po mogućnosti velikog polumjera, a jedna i druga pruga spaja se normalnim skretaljkami, okretaljkami itd. na poznat način, već prema prostranosti i prilikama mjesta spoja.

Jedna i druga kolica šumskog čekrka / uspinjače / redovno vise na otvorenom užetu, koje obilazi vitao montiran na gornjoj stanici / Pendelbetrieb /. Oko vitla omotano je uže njekoliko puta tako,da se trenjem poništi razlika medju napetostima u ulazećem i izlazećem kraju užeta, dotično spriječi svako smicanje užeta oko vitla, koji sliči sad bubnju, sad okrugloj ploči / točku /. Vitao montira se sa osovinom, sad u horizontalnom, sad u vertikalnom položaju.

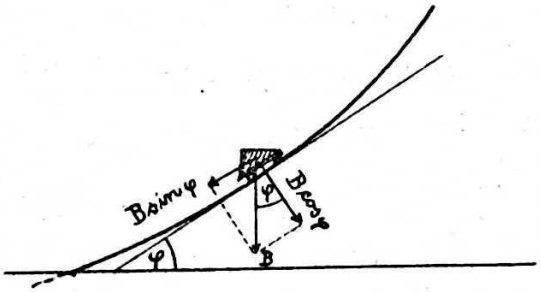
Uz horizontalnu osovinu promjer vitla stoji vertikalno. Kako je taj redovno velik, uz horizontalnu osovinu vitao traži veću, a uz vertikalnu osovinu manju visinu prostora, u koji će se smjestiti. Gdjekad dostaje jedan vitao / bubanj, ploča /, no običnije su potrebna dva: koje zbog razmaka ulazećeg i izlazećeg užeta, koje zbog trenja. Na čekrku izvršuje pogon gravitacija.Strojem treba regulisati tek brzinu kretanja. U tu svrhu služi kočnica, koja sprečava prebrzo okretanje vitla. Upotrebljava se redovno ručna, paočna ili vrpčana kočnica. Kod prve proizvodi se vještačko trenje s pomoću drvenih panjića na unutrašnjoj ili vanjskoj površini vitla neposredno, ili posredno na površini naročite kočne ploče, spojene sa vitlom. Kod druge proizvodi se to trenje s pomoću čelične vrpce, obavite oko naročite, sa vitlom spojene, kočne ploče. Pritežu se pak panjići i vrpca s pomoću zgodno udešenih poluga, gdjekad rukom neposredno, a gdjekad posredno i udobnije s pomoću priručnog točka. Već prema broju vitla, položaju njihovih osovina, veličini uredjaja, gornja stanica čekrka ima zbog toga različit izgled. Slika 12 predočuje na pr. gornju stanicu njekog, u horizontalnoj projekciji 241,25 m., a po kosini mjerenog 265 m. dugačkog šumskog čekrka. Oba vitla /V/,

izradjena iz željeza, sliče više ploči / točku / nego bubnju, a okreću se oko čeličnih osovina, na solidno izgradjenom zasebnom betonskom podnožju. Pogonsko uže ulazi u stanicu preko pŏvodnog točka *a* sa horizontalnom i *b* sa gotovo vertikalnom osovinom do vitla ; obilazi oba vitla njekoliko puta, pa se vraća opet preko provodnih točkova *b* i *a* na otvorenu prugu. Brzinu pogona reguliše paočna kočnica, koja se pritežе s pomoću ručnog točka K , sa mjesta, sa kojeg je izgled na cijelu prugu do donje stanice najbolji. Sav taj uredjaj / izim priručja i stalka kočnice K / nalazi se u podzemnom, zidovima obzidanom i podom prekritom prostoru. Preko tog poda / na slici nije nacrtan / s pomoću produženih tračnica šumske pruge P dopremaju se natovareni vagoneti na potkolica čekrka, dotično otpremaju prazni sa čekrka u šumu.

U slučaju potkolica montirana je redovno na čeonom zidu naprava, koja automatski prihvati i zakvači potkolica čim stignu na gornju stanicu. Prije ponovnog polaska na donju stanicu najprije treba ručnom polugom iskopčati potkolica iz te automatske hvataljke.

Postoje takodjer naprave i uredjaji, s pomoću kojih se mogu zaustaviti kolica na otvorenoj pruzi i onda, kad se to ne može postići s pomoću kočnice na gornjoj stanici zbog defekta na pogonskom užetu, potkolicama ili na samoj kočnici. Sigurnosni ovaki uredjaji / na pr. patent Heckel / rijetko se ali upotrebljavaju na šumskim čekrcima / uspinjačama /, jer se na njima otprema tek mrtva roba. No poradi toga potrebno je sve uredjaje i naprave na čekrku / uspinjači /, koja se nalazi u pogonu, brižno i stalno uzdržavati u besprijekornom stanju. Svi pokretljivi dijelovi treba da su čisti, ležaji osovina nauljeni, a kočnica u potpunom redu. Pogonsko uže ne prekine se nikad odjednom. Ako je istrošeno, najprije se prekinu pojedine žice na površini, te se vidljivo odmataju iz usučaka užeta. Manja ovaka oštećenja nijesu od značenja. Tek kad žice pucaju u većem broju, pa na više mjesta, u gustim razmacima, a uže se produžuje sve više i znatno, prispjelo je vrijeme, da se izmjeni sa novim.

6. Pogonsko uže čekrka

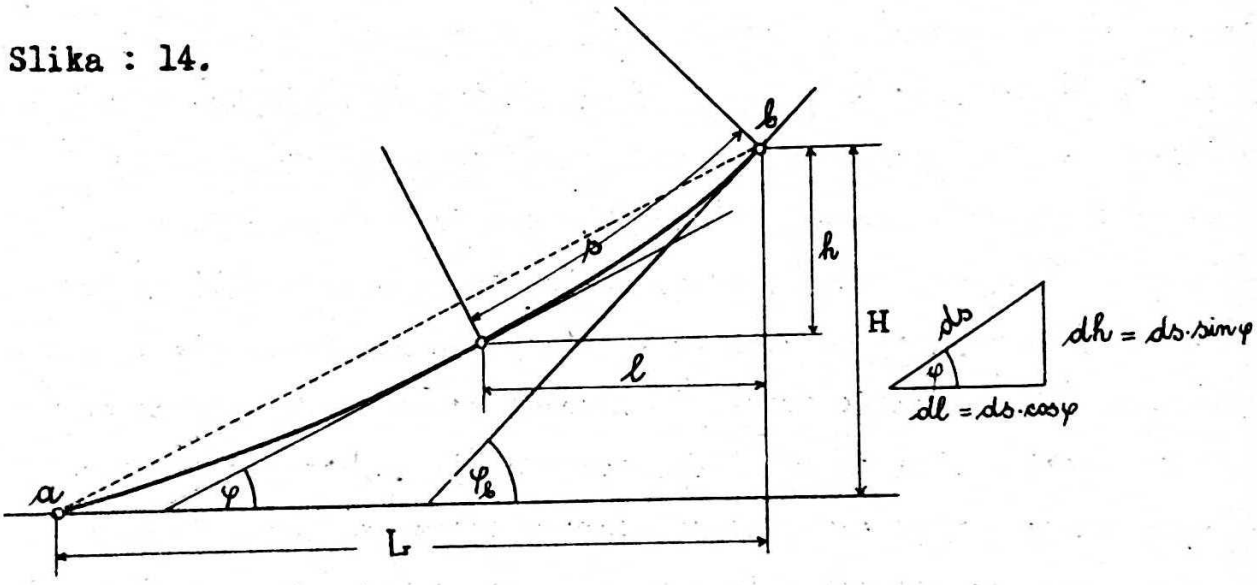


Slika : 13.

Neka označuje : $\mathcal{T}$ tara opterećenje / t.j. potkolica natovarena sa praznim vagonetima /, a $\mathcal{N}$ netto opterećenje, / korisno opterećenje, t.j. drvo, koje se otprema iz šume /. Onda je : $B = \mathcal{T} + \mathcal{N}$ brutto opterećenje punog voza, koji se spušta niz čekrk. Spušta se pak voz zbog djelovanja komponente vlastite težine: $B\sin\varphi$, ako φ označuje nagib linije čekrka na mjestu, na kojem se voz nalazi / sl. 13./. Tome spuštanju suprotstavlja se otpor trenja $\mu B\cos\varphi$, zbog gibanja voza na tračnicama. Voz se dakle spušta / sam / poradi djelovanja sile :

$$B\sin\varphi - \mu B\cos\varphi = B(\sin\varphi - \mu\cos\varphi).$$

Slika : 14.



Zajedno sa vozom spušta se i pogonsko uže takodjer zbog djelovanja komponente vlastite težine :

$$\int_{\varphi}^{\varphi_k} g\,ds\cdot\sin\varphi = g\int_{\varphi}^{\varphi_k} ds\cdot\sin\varphi = g\int_{h}^{0} dh = gh,$$

uz otpor trenja, koje se javlja na podložnim valjčićima :

$$\int_{\varphi}^{\varphi_k} \mu g\,ds\cdot\cos\varphi = \mu g\int_{\varphi}^{\varphi_k} ds\cos\varphi = \mu g\int_{l}^{0} dl = \mu g l.$$

Ukupna napetost u pogonskom užetu silažećeg voza na čekrku mjeri dakle : $S_s = B(\sin\varphi - \mu\cos\varphi) + gh - \mu g l.$

ili nazovemo li kratkoće radi / h i l je vertikalna i horizontalna udaljenost voza od gornjeg kraja čekrka /:

$$\left.\begin{aligned} tg\alpha &= \frac{h}{l}\,, \\ S_s &= B\cos\varphi(tg\varphi-\mu)+gl(tg\alpha-\mu)\,. \end{aligned}\right\} \qquad 6.)$$

Istodobno diže se <u>prazan</u> voz / T / uz čekrk. Budući visi na pogonskom užetu, ovo je napeto sa silom $T(\sin\varphi+\mu\cos\varphi)$. Plus predznak sada zbog toga, što pogonsko uže, potežući prazan voz uzbrdo, mora svladati i trenje kotrljanja na tračnicama. Pogonsko uže potеže i samo sebe uz čekrk sa silom $gh+\mu gl$ / analogno kao prije /. Ukupna napetost u pogonskom užetu uzlazećeg voza na čekrku mjeri dakle :

$$S_u = T(\sin\varphi+\mu\cos\varphi)+gh+\mu gl,$$

ili ako je kratkoće radi opet :

$$\left.\begin{aligned} tg\alpha &= \frac{h}{l}\,, \\ S_u &= T\cos\varphi(tg\varphi+\mu)+gl(tg\alpha+\mu)\,. \end{aligned}\right\} \qquad 7.)$$

Budući se obje formule istodobno upotrebljavaju, jasnoće radi napisat ćemo ih još jednom, no iste oznake, kad se odnose na silazeći voz, označit ćemo sa indeksom s , a kad se odnose na uzlazeći voz, sa indeksom u :

$$\left.\begin{aligned} tg\alpha_s &= \frac{h_s}{l_s}\,;\quad tg\alpha_u = \frac{h_u}{l_u}\,; \\ S_s &= B\cos\varphi_s(tg\varphi_s-\mu)+gl_s(tg\alpha_s-\mu)\,; \\ S_u &= T\cos\varphi_u(tg\varphi_u+\mu)+gl_u(tg\alpha_u+\mu)\,. \end{aligned}\right\} \qquad 8.)$$

Koeficijenat trenja voza na tračnicama, pa užeta na valjčićima, zapravo je različit, no budući se jedan i drugi kreće u širokim granicama od 3 do 30 kg. po toni, već prema stanju, u kakovom se čekrk nalazi, praktički se postupa sigurno, da se uzme u račun za jedan i drugi koeficijenat najnepovoljnija ista vrijednost $\mu=0{,}03$. Računajući u konkretnom slučaju, valja postaviti puni voz na ono mjesto linije čekrka, na kojem predvidljivo nastupa najveća napetost $S_{s\,max}$ u užetu. Ako je linija čekrka pravac, konstantnog nagiba $tg\varphi$, taj slučaj nastupa, kad se silazeći puni voz nalazi tik

donje stanice / dakle uzlazeći prazni voz tik gornje stanice /. Formule 8.) prelaze u oblik u tom slučaju : $h_s = H$; $l_s = L$;

$$\left.\begin{aligned} &tg\varphi_s = tg\varphi_w = tg\varphi = \frac{H}{L} \quad (isp.sl.14). \\ &tg\alpha_s = \frac{H}{L} = tg\varphi ; \; l_w = 0 ; \; h_w = 0 ; \; tg\alpha_w = 0 \\ &S_s = (B\cos\varphi + gL)(tg\varphi - \mu) \\ &S_w = T\cos\varphi(tg\varphi + \mu) . \end{aligned}\right\} \qquad 9.)$$

Pogonsko uže treba omotati toliko / x / puta, da je njegovo smicanje oko vitla posve isključeno. Omjer izmedju veće napetosti u užetu S_s i manje S_w treba da je :

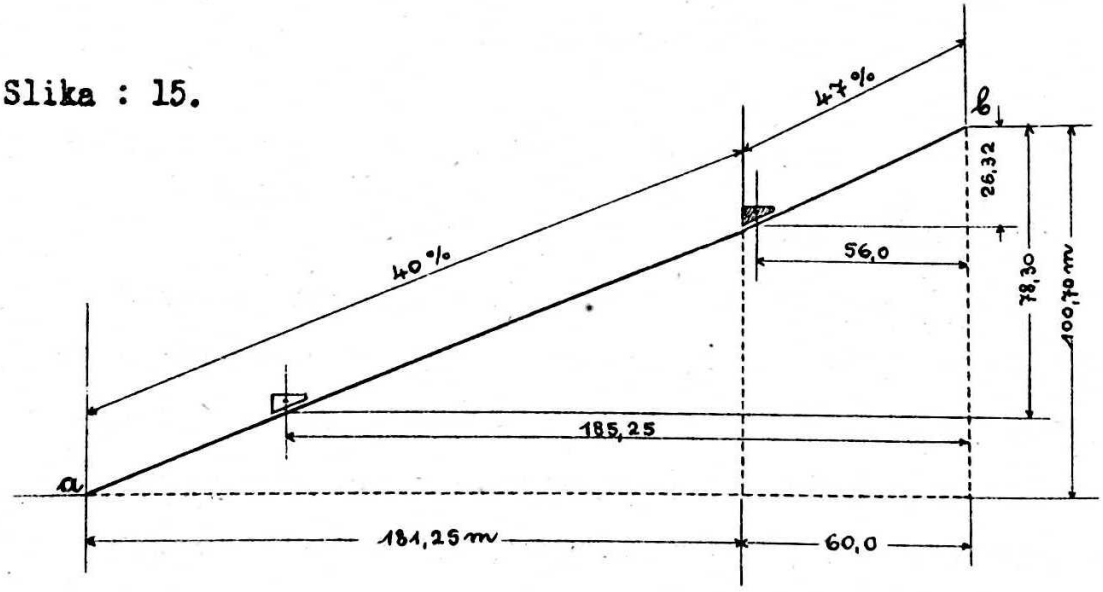
$$\frac{S_s}{S_w} = n < n_0 = e^{\mu 2\pi x} . \qquad 10.)$$

Iz formule 14./ poglavlje " Žično uže " / slijedi naime, da bi na granici ravnoteže bilo upravo : $S_s = S_w e^{\mu 2\pi x}$,

ako je uže x puta omotano oko vitla / $\alpha = 2\pi x$; 2π = jedan puni omot/. Omicanje bit će dakle posve isključeno, ako je uistinu

$$S_s < S_w e^{\mu 2\pi x} , \text{ ili } \frac{S_s}{S_w} < e^{\mu 2\pi x} , \text{ t.j. } n < n_0 .$$

Slika : 15.



Primjer. Slika 15 predočuje uzdužan profil njekog čekrka, na kome se izvršuje promet, zbog znatnog nagiba, s pomoću potkolica. Kod svake vožnje opterećen je :

puni voz sa vlastitom težinom potkolica	2700	kg.
vlastitom težinom vagoneta	1000	kg.
korisnim teretom / dugo drvo /	6000	kg.
ukupno / puni voz / :	B = 9700	kg.
prazan voz sa vlastitom težinom potkolica :	2700	kg.
težinom praznih vagoneta :	1000	kg.
ukupno / prazan voz / :	T = 3700	kg.

Težina pogonskog užeta predvidja se sa $g = 2$ kg/m.

Prispodabljanjem, pokazalo se, da je cijeli uredjaj najnepovoljnije opterećen, kad treba zaustaviti puni voz na gornjem potezu, 47% nagiba, dok se istodobno nalazi prazan voz na donjem potezu, 40% nagiba, p.p. u položajima naznačenima na slici 15 / puni voz šrafiran/.

Onda je po formuli 8.) i podacima slike 15 :

$$tg\varphi_s = 0{,}47\,; \quad \sec\varphi_s = \sqrt{1 + tg^2\varphi_s} = \sqrt{1 + 0{,}47^2} = 1{,}10494\,; \quad \cos\varphi_s = 0{,}90503.$$

$$\mu = 0{,}03\,; \quad g l_s = 2 \cdot 56 = 112\ kg\,; \quad tg\alpha_s = \frac{26{,}32}{56} = 0{,}47.$$

$$S_s = 9700 \cdot 0{,}90503\,(0{,}47 - 0{,}03) + 112\,(0{,}47 - 0{,}03) = 3912\ kg.$$

$$tg\varphi_u = 0{,}40\,; \quad \sec\varphi_u = \sqrt{1 + tg^2\varphi_u} = \sqrt{1 + 0{,}40^2} = 1{,}07703\,; \quad \cos\varphi_u = 0{,}92848.$$

$$\mu = 0{,}03\,; \quad g l_u = 2 \cdot 185{,}25 = 370\ kg.\,, \quad tg\alpha_u = \frac{78{,}30}{185{,}25} = 0{,}4227\,;$$

$$S_u = 3700 \cdot 0{,}92848\,(0{,}40 + 0{,}03) + 370\,(0{,}4227 + 0{,}03) = 1644\ kg.$$

Snošaj izmedju najveće i najmanje napetosti u užetu mjeri :

$$n = \frac{S_s}{S_u} = \frac{3912}{1644} = 2{,}4.$$

Pogonsko uže obilazi dva vitla na gornjoj stanici / isp. sl.12 / tako, da čini $x = 2{,}5$ puna omota. Kut omatanja mjeri dakle $\alpha = 2\pi \cdot 2{,}5 = 5\pi$. Koeficijenat trenja izmedju žičnog užeta i željeznog vitla uzima se u račun redovno sa $\mu = 0{,}1$; onda je po formuli 10.):

$$n_0 = e^{\mu 2\pi x} = e^{0{,}5\pi} = 4{,}8 > n = 2{,}4.$$

Proti smicanju užeta oko vitla postoji dakle dvostruka sigurnost. Odaberemo li za pogon uže $d = 24$ mm., sukano od 6 usučaka po 19 žica / = 114 žica /, promjera $\delta = 1{,}5$ mm., čvrstoće potezanja $\sigma_v = 130$ kg/mm^2,

dotično napetosti uz tu čvrstoću $S_B = 26220$ kg, sigurnost užeta proti prekidanju mjeri :

$$s = \frac{S_B}{S_s} = \frac{26220}{3912} = 6,7 .$$

Kod ovog čekrka / sl.12 / zasnovana je paočna kočnica u obliku škara; montirana je u prostoru izmedju oba vitla tako, da po dva panjića koče jedan i drugi vitao istodobno i neposredno. Upravlja se pak s pomoću ručnog točka, koji je spojen sa kočnicom s pomoću vretenastog vijka.

Da se uštedi uže što više, promjer vitla (D) odabire se po mogućnosti velik. Najmanje neka je $D \geqq 550 \sim 700\,\delta$. Kod žičara uzima se obično $D = 1000\,\delta$. Promjer jednog i drugog vitla ovog čekrka odabran je sa D = 2000 mm.; dakle omjer $\frac{D}{\delta} = \frac{2000}{1,5} = 1333$ odabran je vrlo povoljno i to tako velik ne samo zbog užeta nego i zbog kočnice.

7. Pogonsko uže i pogon uspinjače. Na uspinjači uzlazi puni voz, a silazi prazan voz. Zbog toga formule 8.) prelaze u oblik :

$$\left.\begin{aligned} S_u &= B\cos\varphi_u(tg\varphi_u + \mu) + g l_u(tg\alpha_u + \mu) \\ S_s &= T\cos\varphi_s(tg\varphi_s - \mu) + g l_s(tg\alpha_s - \mu) \\ tg\alpha_u &= \frac{h_u}{l_u}\,; \quad tg\alpha_s = \frac{h_s}{l_s}\,. \end{aligned}\right\} \qquad 11.)$$

U ovim formulama označuje : B težinu punog, a T težinu praznog voza; φ_u dotično φ_s je nagib pruge na mjestu, na kom se nalazi puni, dotično prazan voz; μ je koeficijenat trenja na pruzi; g je jedinična težina žičnog užeta; h_u i l_u, dotično h_s i l_s je vertikalna i horizontalna udaljenost punog, dotično praznog voza od gornjeg kraja uspinjače.

Upotrebljavajući ove formule, puni voz valja smjestiti na mjesto linije uspinjače, na kojem se očekuje najveća napetost u užetu. Ako je linija uspinjače pravac, konstantnog nagiba $tg\varphi$, taj slučaj nastupa, kad se uzlazeći puni voz nalazi tik donje stanice. Formule poprimaju u tom slučaju oblik :

$h_u \sim H$ / vertikalna projekcija pruge uspinjače /

$l_u \sim L$ / horizontalna projekcija pruge uspinjače /

$$\left.\begin{aligned} &tg\varphi_u = tg\varphi_s = \frac{H}{L}; \quad tg\alpha_u = \frac{H}{L} = tg\varphi \\ &h_s = 0; \quad l_s = 0; \quad tg\alpha_s = 0 \\ &S_u = (B\cos\varphi + gL)(tg\varphi + \mu) \\ &S_s = T\cos\varphi(tg\varphi - \mu) \end{aligned}\right\} \quad 12.)$$

Uspinjaču pogoni stroj. Potrebno je zbog toga uzeti u račun još i napetost, koja nastaje u užetu zbog impulsa stroja, na početku vožnje. Napetost impulsa računa se općenito pak po formuli :

$$S_i = Q \cdot \frac{p}{g}$$

Q označuje teret, koji stroj pokreće, a p akceleraciju s kojom stroj radi. Kod žičara uzima se obično :

$$\frac{p}{g} = \frac{0,3}{9,87} \sim 0,03 .$$

U uzlaznom užetu mjeri dakle napetost impulsa : $S_{iu} = 0,03(B + gl_u)$,

a u silaznom užetu : $S_{is} = 0,03(T + gl_s)$. 13.)

U specijalnom slučaju uspinjače konstantnog nagiba / uz formulu 12 / :

$$\left.\begin{aligned} S_{iu} &= 0,03(B + gL), \\ S_{is} &= 0,03T . \end{aligned}\right\} \quad 14.)$$

Ukupna napetost u uzlaznom, dotično silaznom užetu mjeri dakle :

$$\left.\begin{aligned} S_1 &= S_u + S_{iu} , \\ S_2 &= S_s - S_{is} . \end{aligned}\right\} \quad 15.)$$

Sila Z , koja će pokretati uspinjaču, treba onda da mjeri najmanje:

$$Z = S_1 - S_2 .$$

Zbog drugih ali još otpora / na osovini vitla, prenosi itd. / povećaje se još njezin iznos redovno za 10 %. Bit će dakle :

$$Z = 0,1Z + S_1 - S_2$$

ili

$$Z = \frac{S_1 - S_2}{0,9} . \quad 16.)$$

Efekat stroja, koji će pokretati uspinjaču treba pak da mjeri :

$$E^{KS} = \frac{Z^{kg} \cdot v\ m/sec}{75} . \quad 17.)$$

v označuje brzinu, s kojom će se odvijati promet na uspinjači / $v = 1 \sim 2$ m/sec / .-

Primjer. Uz iste podatke kao u prijašnjoj tački neka nam sl. 15 predočuje uzdužan profil uspinjače. Puni voz teži dakle B = 9700 kg., a prazan $\mathcal{T}$ = 3700 kg. Najnepovoljnije je opterećen cijeli uredjaj opet uz položaj jednog i drugog voza, označen u toj slici. Onda je po formulama 11.):

$$S_u = 9700 \times 0{,}90503(0{,}47+0{,}03)+2\times 56(0{,}47+0{,}03) = 4445 \text{ kg.}$$

$$S_s = 3700 \times 0{,}92848(0{,}40-0{,}03)+2\times 185(0{,}423-0{,}03) = 1416 \text{ kg.}$$

Nadalje je po formuli 13):

$$S_{iu} = 0{,}03(9700+2\times 56) = 294 \text{ kg.}$$

$$S_{is} = 0{,}03(3700+2\times 185) = 122 \text{ kg.}$$

a po formuli 15):

$$S_1 = 4445 + 294 = 4739 \text{ kg}$$

$$S_2 = 1416 - 122 = 1294 \text{ kg}$$

$$S_1 - S_2 = 3445 \text{ kg}$$

dakle / iz 16.) / : $$Z = \frac{3445}{0{,}9} = 3828 \text{ kg}$$

$$E^{KS} = \frac{3828}{75}\cdot v = 51\, v.$$

Stroj / motor /, koji će pogoniti uspinjaču treba da ima snagu potezanja $Z \geqq 3828$ kg, i efekat od $E \geqq 51 \times 1{,}5 = 76{,}5 \sim 77$ KS, ako želimo, da se promet odvija sa brzinom od v=1,5 m/sec.

Svaka uspinjača providjena je naravno takodjer sa kočnicom, koja reguliše jednoličnost gibanja, pa sa automatskom hvataljkom na gornjoj stanici, na kojoj se nalazi takodjer vitao i stroj / motor /.

Napomena. Nalazi li se linija čekrka ili uspinjače u krivulji tako, da valjčići skreću smer užeta, otpor gibanja povećaje se za otpor krivosti. Označuje li N komponentu napetosti užeta, s kojom ono mijenjajući smjer pritiskuje na valjčić / dakle komponentu u smjeru promjera valjčića ili točka / trenje na osovini / promjera d / jednog takovog valjka (promjera D) mjeri / uz koeficijent trenja μ na osovini / : $$S_K = \mu N \cdot \frac{d}{D}.$$

Ima li pak više takovih valjčića ili točkova na promatranom potezu, ukupni otpor krivosti mjeri :

$$S_K = \Sigma \mu N \cdot \frac{d}{D}. \qquad 18.)$$

Zbog kretanja pak voza po tračnicama u krivulji nastali otpor krivosti odredjuje se na poznat način kao kod adhezione pruge / isp. ova predavanja I. dio, str. 482 /.
Ukupni taj otpor treba dodati ili odbiti od napetosti u užetu, već prema tome, da li kod gibanja voza ukupna napetost u užetu raste ili pada zbog tog otpora.

8. Zaključak. Dužina pruge šumskog čekrka rijetko presiže 400 m. Ako su potrebne veće dužine, grade se dva ili više čekrka, jedan ispod drugoga. Čekrke rastavljaju terase, a spajaju na tim terasama izgradjene obične, adhezione šumske pruge. Ove posljednje grade se sa malim nagibom tako, da je pogonska snaga, kojom se otpremaju puni vozovi nizbrdo, p.p. jednaka pogonskoj snazi, sa kojom se dopremaju prazni vozovi uzbrdo. Na ovaj način proširuje se i eksploataciono područje čekrka. Na spojne pruge lako se priključuju pobočne sumske pruge s jedne i druge strane, te na njima doprema roba do čekrka. Roba se prikuplja na taj način ne samo na gornjoj stanici najvišeg čekrka, nego i na gornjoj stanici svakog nižeg. U gorskom eksploatacionom području, na kojem je šumska pruga glavna izvozna žila, čekrci su gotovo neminovni. Kad treba svladati veliku visinsku razliku, zbog malog dozvoljenog uspona, razvijanje šumskih pobočnih pruga u velikim dužinama bit će redovno skupocijenije rješenje od čekrka. U prijašnjem primjeru vidjeli smo, da je visinska razlika od okruglo 101 m. svladana sa 264 m. dugačkim čekrkom. Da se pak svlada ista ta visina sa šumskom prugom, uz najveći dozvoljeni uspon od 50 ‰ potrebna dužina pruge mjerila bi preko 2 kilometara. No i u drugim prilikama, na pr. kad je glavni izvozni put jači vodotok, a roba se otprema izdašnim plavljenjem, u bregovitom i gorskom kraju rado se doprema roba do vodotoka s pomoću čekrka. Na svaki čekrk lako se priključuju pobočne pruge u raznim smjerovima i na taj način proširuje njegov akcioni promjer. Prema tome valja i odabrati mjesto čekrku. Jer bit će ekonomičniji s tim više, što duže može da radi sa punim kapacitetom.

Trošak donjeg stroja čekrka normalno je p.p. jednak dvostrukom trošku obične šumske pruge, iste dužine. U istom omjeru stoji p.p. i trošak gornjeg stroja. Razlikuje se od obične pruge po investicijama za predmete i naprave, koje iziskuju naročiti pogon na čekrku. Od tih najskupocijenije je pogonsko uže, pak vitao sa kočnicom. Potkolica nijesu potrebna u svakom slučaju.- Sam pogon ne stoji tako rekući ništa, budući ga izvršuje gravitacija. Sav trošak prometanja sastoji pak u uzdržavanju stalnog kočničara, te njekoliko stalno namještenih radnika, zabavljenih manipulacijom na gornjoj i donjoj stanici.

Drugačije stoji stvar sa uspinjačom. Osim spomenutih troškova pridolazi još i trošak dobave, uzdržavanja, pa podržavanja motora u pogonu / gorivo itd. /. Zbog toga se uspinjača ni ne susreće tako često u šumarstvu kao čekrk.Sa dužinom i nagibom pruge ti troškovi znatno rastu. Poradi toga uspinjače su redovno kratke, kraće od čekrka, a grade se tek u naročitim ekonomski opravdanim ili povoljnim prilikama.

Nabava pa podržavanje skupocjenog redovno kaloričnog motora mimoišla se gdjekad, a pogon uspinjače udesio i na drugi koji način. Kod manjih uredjaja na pr. može se upotrijebiti za pogon gravitacija na taj način, da se uspinjača vještački pretvori u čekrk. Kamenom, željezom ili vodom opterećena pogonska kolica spuštajući se dižu korisnom robom natovareni voz. Pruga takve uspinjače sastoji od 4 tračnica. Vanjski par tračnica čini jednu prugu, a nutarnji drugu. Po vanjskim tračnicama uspinje se puni voz, po unutarnjima spuštaju se pogonska kolica. Jedanputa dovoljno opterećena pogonska kolica dižu puni voz, drugi put prazan voz spuštajući se diže dovoljno rasterećena pogonska kolica. Na ugibalištu, ukrštavajući se, pogonska kolica prolaze ispod voza. Zbog toga su unutarnje tračnice spuštene ispod vanjskih tračnica ili su ove podignute nad unutarnje na ugibalištu, koliko je potrebno za prolaz jednih kola ispod drugih. Poradi toga pogonska kolica imaju oblik dugoljastog niskog sanduka izradjenog od željeznog lima. Najzgod-

nija prilika za ovakov pogon je voda, ako se nalazi u dovoljnoj količini u blizini gornje stanice. Kad pogonska kolica stignu na donju stanicu ispusti se sva voda iz sanduka.

Drugi primjer bila bi uspinjača, svojedobno izvedena na Aurahu u Salzkamergutu. Diže Aurahom priplavljeno gorivo drvo na platô povrh njega cca 38 m. visoko. Duga je cca 65 m., a ima dvije paralelne pruge. Pogoni tu uspinjaču na donjoj stanici uz Aurah podignuta vodenica. Ova ima dva vodena točka na istoj osovini. Do svakog točka vodi zaseban žlijeb sa tokom vode suprotnog smjera. Jedan točak okreće se dakle na lijevo, a drugi na desno. Na istoj osovini montiran je i vitao. Ima oblik valjka promjera 160 cm. Pogonsko uže jedne pruge namotano je oko valjka u suprotnom smjeru pogonskog užeta druge pruge. Kad se osovina okreće / na lijevo ili na desno / u oba slučaja uže jedne pruge namata se na vitao, dok se uže druge pruge odmata sa vitla. Jedna kolica silaze a druga uzlaze. Pušta li se voda zgodno udešenim zapornicama do prvog vodenog točka / istodobno je žlijeb drugog vodenog točka zatvoren i suh /, uzlaze kolica na jednoj pruzi; pusti li se voda u drugi žlijeb, do drugog vodenog točka, / a prvi žlijeb isprazni i zatvori / taj se okreće u suprotnom smjeru, a ista ova kolica silaze niz uspinjaču. Na taj način diže vodenica koristan teret na jednoj i drugoj pruzi naizmjence. Pogonsko uže obilazi točak / vitao / / promjera 220 cm. / na gornjoj stanici, a napeto je s pomoću utega, ovješenog o taj točak. / Taj točak sa vertikalnom osovinom leži naime na sanjkama, a uteg preko kolotura s pomoću užeta poteže sanjke sa točkom tako, da je pogonsko uže uvijek dovoljno napeto /. Obje pruge leže na drvenim jarmovima; sastoje od uzdužnih podvala, okovanih sa željeznim šinjama, koje služe ujedno i kao tračnice. Slika 6 predočuje valjčiće, a sl.10 potkolica te uspinjače. / Pobliže vidi Forster; das forst Transportwesen str.243. /. -

d. Z r a č n e ž i č a r e .

1. Podrijetlo zračnih žičara nalazi se u tropskim šumama. Povijuše i penjačice tih šuma bile su već u davno doba, a još i danas sredstvo, s pomoću kojega je primitivan čovjek prenosio njekad kao i danas koristan teret, pa i samog sebe, preko provalija, vodotoka i drugih prirodnih zapreka. Premoštenje većih takovih zapreka, za koje nije dostajala neposredna upotreba povijuša i penjačica, potaklo je čovjeka na izradbu i upotrebu vještački sukanog užeta. Naročito u starim kulturnim zemljama Indiji i Japanu, bogatima na gorskim provalijama, umjeli su ljudi sukati i u tu svrhu upotrijebiti uže već u rano doba. Razapeli bi uže, na nj ovjesili košaru sa korisnim teretom i čovjekom, koji bi rukama hvatajući se za razapeto uže turao košaru i sebe s jednog kraja na drugi kraj. No ne samo na ovaj način. Upotrebljavali su takodjer točak, da se smanji trenje na razapetom užetu pod ovješenim teretom; pogonsko uže, s kojim bi potezali na užetu nosaču ovješen teret s jednog kraja zapreke na drugi kraj; dapače i po dva užeta nosača : jedan za punu a drugi za praznu košaru. Puna košara / kolica / putujući nizbrdo dizala bi s pomoću pogonskog užeta praznu košaru uzbrdo, po principu čekrka. A sve to još u davno doba.

U Europi zabilježeni počeci zračnih žičara sižu u početak petnaestog stoljeća. Radi se tu o primitivnim uredjajima, većinom u vojničke svrhe / za prenos oružja, strijeljiva, namirnica itd. / . Tako je na pr. Johann Hartlieb konstruirao već g.1411 žičaru za snabdijevanje njeke tvrdjave sa raznim potrepštinama u obliku beskonačnog užeta, koji obilazi dva vitla, jedan na jednom, a drugi na drugom kraju opkopa. Pa i samo žično uže izradjivalo se već davno u Europi. Najstariji komad unakrst sukanog užeta od brončanih žica pronadjen je u iskopinama rimskoga grada Pompeji. Poznato je bilo i poslije u srednjem vijeku u Europi. Vidi se to iz tehničkih bilježaka Leonarda da Vincia /† 1519 / kad kaže, opisu-

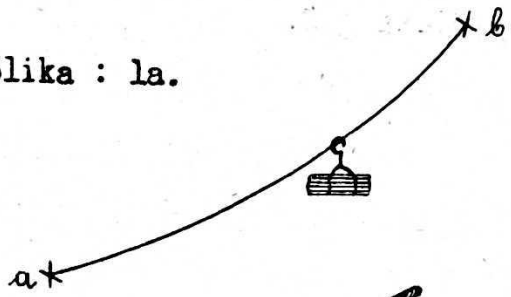
juci njeki paternoster : " uže treba izraditi od užarenih bakrenih ili željeznih žica, debelih poput tetive luka, ako se želi, da taj stroj potraje duže." Pa ipak spomenuti Hartliebov kao i kasniji pokušaji sve do najnovijeg doba bili su tek sporadičke pojave, jednostavne naprave, neznatnog kapaciteta, uredjene primitivnom tehnikom srednjeg vijeka, često i samo za zabavu.

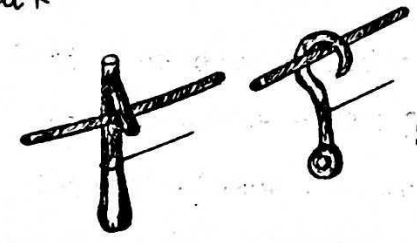
Iako su dakle bili poznati gotovo svi elementi, dapače i principi današnjih žičara već davno prije, preporod, rek bi ponovno iznašašće zračnih žičara pada u devetnaesto stoljeće. Sa napretkom tehnike u tom vijeku uopće, a industrije željeza napose, razvija se i postepeno usavršuje žičara do današnjeg modernog i u razne svrhe primjenjenog zračnog prometala. God. 1834 Albert pronalazi, a tri godine kasnije proizvodi već tvornica Felten i Guilleaume u "Kolnu moderno žično uže na veliko. God. 1884 tvrtka Latch i Bachlor u Birminghamu usavršuje ga, te izradjuje već i u zatvorenom obliku.

Nemalu ulogu igralo je u razvitku zračnih žičara šumarstvo. Nemirno, promjenljivo, isprekidano i strmo visokogorsko tlo stavljajući gotovo nesavladive zapreke pozemnom eksportu šumskih produkata, bilo je povodom, da se je na tom području najprije počela razvijati i za iznošenje vrijednih sortimenata sistematski upotrebljavati zračna žičara i to u početku u svom najjednostavnijem obliku kao - žično točilo.

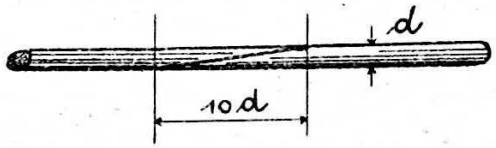
2. Žično točilo. Budući se ovo upotrebljava gdjekad još i danas kao gorsko sporedno transportno sretstvo, opisat ćemo ga podrobnije. Shematski predočuje tip ili princip žičnog točila slika la. Kao nosač / pruga / služi masivna željezna ili čelična žica promjera 6 do 10 mm. / nekad još i više /. Kao kolica služi drvena, drvom obložena ili posve željezna kuka /slika lb /; gdjekad i točak / slika ld /. Drvena ili drvom obložena kuka manje

Slika : la.

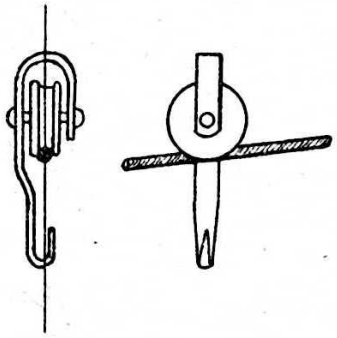




Slika : lb.

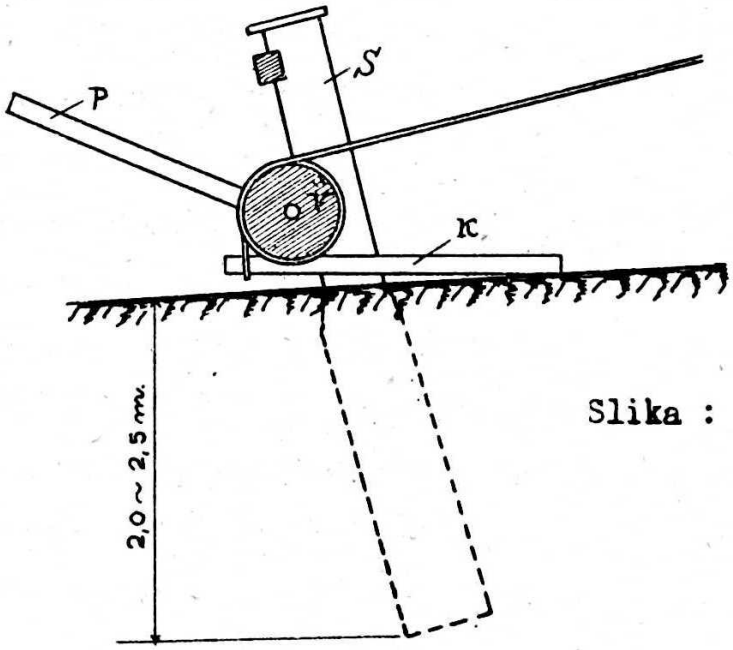


Slika : 1c.



Slika : 1d.

haba žicu od željezne. Na kuku ili točak užetom ili lancem pričvršćeni teret giba se nizbrdo prepušten sam sebi zbog gravitacije. Kuke / točkovi / skupljaju se na donjem kraju, pa s pomoću uzice i malog vitla privuku opet na gornji kraj točila. Žica nosač čvrsto je usidrena na gornjem kraju, obično o kakovo deblo / panj / po mogućnosti velikog promjera. Na kraju žice izradi se šiljak i poput čavla zabije u deblo / panj /, a žica se omota oko panja njekoliko puta / dovoljno 2 do 3 puta /. Na donjem kraju napeta je žica s pomoću vitla, valjano usidrenog u čvrsto tlo. Skicu jednostavne naprave za napinjanje užeta predočuje sl.2 . Sastoji od dva, 3,0 do 3,5 m. du-



Slika : 2.

gačka, 30 do 40 cm. jaka stupa, ukopana 2 do 2,5 m. duboko u čvrsto tlo. Vitao / V / je dio debla promjera D = 50 ~ 60 d / d označuje promjer žice /, a naslanja se neposredno ili samo sa svojom

osovinom na oba stupa. U posljednjem slučaju okovan je obručima na rubovima, a providjen i sa rupama, na jednom i drugom kraju, u koje se zabadaju duge motke / poluge P / i zakreće vitao. Ako je napetost u užetu velika / > 2000 kg. / treba još upotrijebiti koloturnik za lakše pokretanje poluge. Odmatanje vitla spriječava lanac i kočna poluga (K)ili drugi koji jednostavan način kočenja. Drvene dijelove na gornjoj i donjoj stanici, koji strše izvan zemlje, treba impregnirati, da potraju duže / mješavinom lanenog ulja i čadje od kamenog uglja ili barem pougljenjem površine /. Žica se isporučuje u komadima dužine i težine / cca 70 kg. / primjerene mogućnosti transporta. Pojedini komadi svaruju se na licu mjesta, ako je potrebno, da se jedan i drugi kraj žice koso nasjeće p.p. prema slici 1b. Kao točilo najbolje će poslužiti elastična, nežarena žica. Tek okrajak žice katkad je žaren, da se lakše omota oko vitla na donjoj, pa oko panja ili debla na gornjoj stanici. Žica se napinje sa četverostrukom do šesterostrukom sigurnošću. Ako F označuje prosjek, a Q opterećenje, koje može podnijeti masivna žica pod jednom kukom ili jednim točkom, izlazi uz peterostruku sigurnost / formula 11.), poglavlje " Žično uže " /, da naprezanje u žici ne prekorači granicu proporcionalnosti σ_p :

$$\sigma = \frac{\sigma_B}{5} + \frac{Q}{F}\sqrt{\frac{E}{\sigma_B/5}} \leqq \sigma_p .$$

Za žicu od taljenog željeza bit će dakle :

$$\frac{600}{5} + \frac{Q}{F}\sqrt{\frac{2.100.000}{1200}} \leqq 3000$$

ili

$$Q^{kg} \leqq 43\,F^{cm^2} \qquad 12a.)$$

a čeličnu žicu /σ_B= 14500 kg/cm^2 / analogno :

$$\frac{14.500}{5} + \frac{Q}{F}\sqrt{\frac{2.200.000}{1200}} \leqq 7250$$

ili

$$Q \leqq 158\,F^{cm^2} \qquad 12b.)$$

Podaci pak o masivnim žicama, kakove danas dolaze u obzir, sabrani su u tablici 1. Iz te tablice izlazi, da se na ovaj način može otpremati tek neznatan teret, ako se ne želi uništiti žicu u kratko vrijeme. Uz najjači promjer žice od taljenog željeza /d=10 mm / težina tereta može iznositi tek 34 kg., ako se otprema na jednoj

Tablica : 1.

Žica od		taljenog željeza			žičnog čelika		
d	F	g	S_B	$Q \leq 43F$	g	S_B	$Q \leq 43F$
mm	cm^2	kg/m	kg	kg	kg/m	kg	kg
6,0	0,2827	0,216	1696	12	0,225	4099	45
6,5	0,3318	0,254	1991	14	0,264	4811	52
7,0	0,3843	0,294	2309	16	0,306	5580	61
7,5	0,4418	0,338	2651	20	0,352	6407	70
8,0	0,5027	0,384	3016	22	0,399	7289	79
8,5	0,5675	0,434	3405	24	0,451	8229	89
9,0	0,6362	0,486	3817	27	0,505	9225	100
9,5	0,7088	0,542	4253	30	0,563	10278	112
10,0	0,7854	0,600	4712	34	0,624	11388	124

kuki ili točku, a 68 kg., ako se otprema na dvije kuke ili na dva točka.

Često se medjutim namjesto po formuli 1a) i 1b) koristan teret Q odredjuje po empiričkoj formuli :

$$Q^{kg} = \frac{S_m^{kg}}{120} \qquad 2.)$$

koja daje dvostruko veći iznos. S_m označuje najveću napetost u žici. Razlika izmedju teorije i prakse nastaje otuda, što naprezanje pregibanja u napetoj žici do danas nije još potpuno ispitano. Formule 1a), 1b) i 2.) označuju dakle granične vrijednosti unutar kojih se kreće dozvoljeno opterećenje. Što je ovo manje žica traje duže.

Koeficijenat trenja klizanja suhog drva na metalu iznosi prosječno 0,40 , vlažnog drva 0,24 , a masnim mazom namazanog 0,10 . Koeficijenat klizanja željeza na suhom željezu, kakovo ovdje dolazi u obzir, mjeri 0,44 , a uz umjereno mazanje 0,15 do 0,20. Prosječan nagib žičnog točila treba dakle da mjeri najmanje 30 % /$tg\alpha = 0{,}3$; $\alpha = 16°42'$/, a ne više od njeko 60 % /$tg\alpha = 0{,}60$; $\alpha = 30°58'$/, ako se teret otprema s pomoću kuka. Prevelik nagib ne valja Žica se naime uzbiba i onda, kad teret, prepušten sam sebi, klizi umjerenom brzinom. Uz prevelik nagib raste vibriranje žice a onda i naprezanje u njoj i to s tim većma, što je brzina tereta veća. Otpre-

ma li se pak teret s pomoću točka, prosječan nagib točila treba da mjeri najmanje 15 % /$tg\alpha = 0{,}15$; $\alpha = 8^\circ 32'$/, a ne više od njeko 30 % /$tg\alpha = 0{,}30$; $\alpha = 16^\circ 42'$/.-

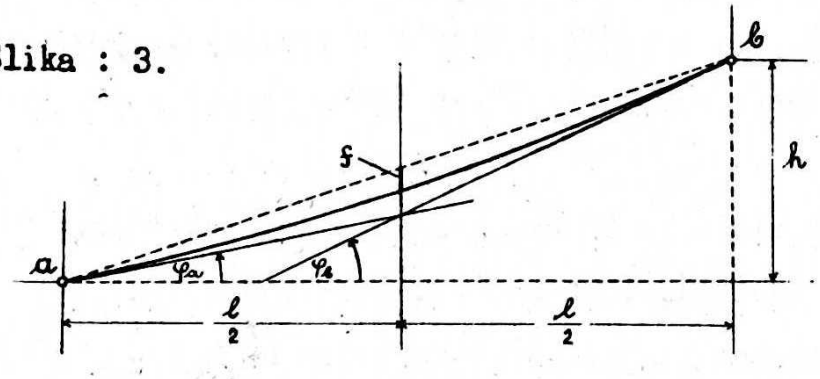
Nadošli teret zaustavlja se pred donjom stanicom / pred vitlom / na vještački podignutoj elastičnoj zapreci. Redovno je to pješčani ili zemljani nasip obložen sa busenom / busenicama /, granjem, lišćem, slamom ili sličnim štogod, što ublažuje žestinu udarca. Ovako izradjena zapreka čuva od oštećenja ne samo robu nego i vitao.

Masivna željezna ili čelična žica upotrebljava se kod točila tek manjih dužina. Jedno zbog učvršćenja samo na dva mjesta, drgo zbog ograničene dužine žice. Svarivanje na licu mjesta izbjegava se po mogućnosti. U svarenoj žici može se računati samo sa jednom trećinom napetosti sloma nesvarene žice. Zbog toga točilo sa masivnom žicom od taljenog željeza može biti najviše 300 m. dugačko, a kao najveću dužinu uopće spominju 600 m.

Otpremati se pak može samo sitna i laka roba u malim svežnjevima / vreće sa ugljenom, kora, granje, cjepanice itd. /.

Primjer. Zadan je horizontalan (l) i vertikalan razmak (h) donje(a) i gornje(b) stanice :

Slika : 3.



$l = 300$ m.;

$h = 100$ m.;

dakle :

$tg\alpha = \frac{h}{l} = \frac{100}{200} = 0{,}33333$

$\sin\alpha = 0{,}31623$;

$\cos\alpha = 0{,}94868$;

Kao točilo odabiremo žicu od taljenog željeza promjera $d = 8$ mm. Onda je prema tablici 1 :

$q = 0{,}384$ kg/m; $F = 0{,}5027$ cm^2; $Q = 22$ kg; $S_B = 3016$ kg.

Najveća napetost nalazi se na gornjem kraju žice, te mjeri uz peterostruku sigurnost :

$$S_k = \frac{1}{5} S_B = \frac{3016}{5} = 603 \text{ kg.}$$

Nadalje je : $gh = 0,384 \cdot 100 = 38$ kg.

Napetost u sredini raspona mjeri / isp. form. 108 i 109 poglavlje Teorija zračnih žičara / :

$$S_f = S_l - \frac{1}{2} gh = 603 - 19 = 584 \text{ kg}$$

a na donjem kraju :

$$S_a = S_l - gh = 603 - 38 = 565 \text{ kg}.$$

Horizontalan napon mjeri dakle :

$$H = S_f \cdot \cos\alpha = 584 \cdot 0,94868 = 553 \text{ kg}.$$

Parametar užnice iznosi : $a = \frac{H}{g} = \frac{553}{0,384} = 1440$ m.

Najveći pregib u sredini raspona je :

$$f = \frac{l^2}{8a} = \frac{300^2}{8 \cdot 1440} = 7,81 \text{ m}.$$

Nagib tangenata užnice u tačkama a i b mjeri :

$$tg\varphi_a = tg\alpha - \frac{l}{2a} = 0,33333 - \frac{300}{2 \cdot 1440} = 0,22916$$

$$tg\varphi_l = tg\alpha + \frac{l}{2a} = 0,33333 + 0,10417 = 0,43750$$

Dužina luka / žice / ab treba da mjeri / isp. form. 41, poglavlje: Teorija zračnih žičara / :

$$s = l + \frac{1}{2} \cdot \frac{h^2}{l} + \frac{8}{3} \cdot \frac{f^2}{l}$$

$$s = 300 + \frac{1}{2} \cdot \frac{100^2}{300} + \frac{8}{3} \cdot \frac{7,81^2}{300} = 317,21 \text{ m}.$$

Napinjemo li žicu s pomoću vitla, uz peterostruku sigurnost dužina žice treba da mjeri 317,21 m., a najveći pregib u sredini raspona 7,81 m. Ovo su dakle ujedno i mjere, kojih se treba držati napinjajući žicu.

Iznosi li promjer drvenog vitla D = 50 cm. momenat napetosti žice obzirom na osovinu vitla mjeri $M_z = 0,25 \cdot 565 = 141$ kgm. Zakreću li vitao po dva radnika na svakom kraju, svaki sa silom od 20 kg., u udaljenosti x od osovine vitla, kod posljednjeg okretaja treba da je $4 \cdot 20 \cdot x = 141$ ili $x = 1,76$ m. Motke s kojima će 4 radnika zakretati vitao, trebale bi dakle da sižu okruglo 2,0 m. daleko od osovine, vitla.

Po formuli 1a) dozvoljeno opterećenje mjeri Q = 22 kg, a po formuli 2.) $Q = \frac{603}{120} = 50$ kg. Osrednja vrijednost iznosi 36 kg.

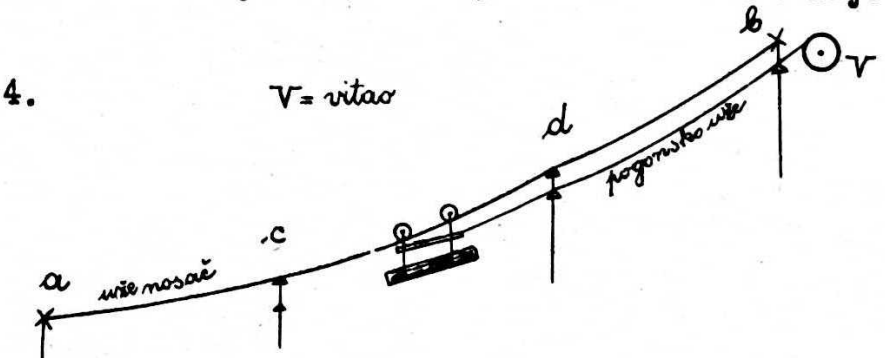
Otprema li se dakle na svakoj kuki tovar od $Q = 36$ kg, a ukupno vrijeme otpreme za svaki tovar iznosi li 90 sec., maksimalni efekat u jednom radnom satu dosiže $\frac{60 \times 60}{90} \times 36 = 1440 kg$.-

Točilo poslužuju na svakoj stanici redovno po dva radnika. Potječe iz alpskih krajeva gdje se još i danas gdjekad upotrebljava / Tirol /, naročito u prilikama, kad treba premostiti na drugi koji način neprolazne raspukline, provalije ili zapreke, ili je zaobilaženje ovakovih zapreka skopčano sa mnogo truda i vremena.

Kao što je masivna gvozdena žica zamijenila konop, tako je moderno žično uže zamijenilo gvozdenu žicu, čim je pronadjeno. Tako je nastalo - točilo od žičnog užeta.

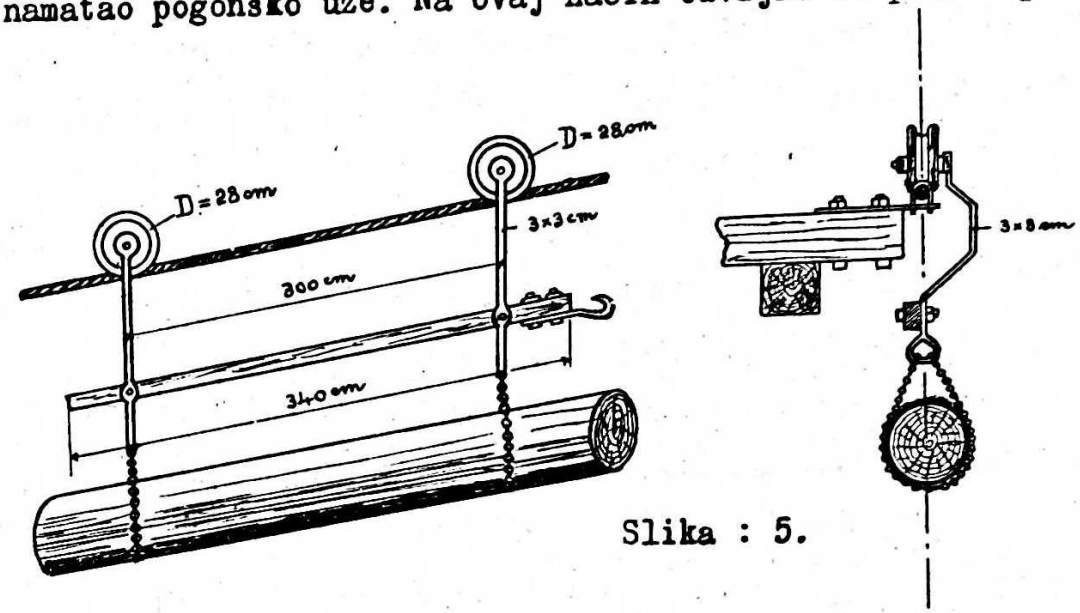
3. Točilo od žičnog užeta, koje se najprije gradi, pa onda dalje razvija i usavršuje opet na šumskom tlu. Velika čvrstoća žičnog užeta dopuštala je otpremu većih i težih sortimenata. Budući su ovi ujedno i vrijedniji, trebalo je točilo dotjerati, da se sortimenti obrane od oštećenja. Teret se ne otpušta više prepušten sam sebi, nego s pomoću pogonskog užeta. Točilo sastoji dakle od užeta nosača, na kojem se teret giba, te od pogonskog užeta, s kojim se reguliše brzina gibanja. Da se nadalje postigne po mogućnosti što veća dužina transporta, jednoličan nagib, a poštedi uže od prevelikog naprezanja, poduprto je uže s uporama, osim na krajevima, još i medju njima, na više mjesta / Sl.4 /. Za težak teret nije dostajao

Slika : 4.



samo jedan točak, nego kolica složena od dva točka p.p. prema slici 5. U kariku na kraju ruda, koje spaja oba točka, ukopčano je bilo pogonsko uže. Teret bio je ovješen i učvršćen na kolica s pomoću lanaca. Jedna, dvoja ili više ovakovih kolica ukopčana jedna iza drugih u izvjesnom razmaku, pa konačno o pogonsko uže, otpuštala se s

pomoću vitla (V) i kočnice sa gornje stanice. Kad su kolica stigla na donju stanicu, pogon je stao, teret se skinuo, a prazna kolica natovarila se na posljedna prazna kolica, skopčana sa pogonskim užetom, pa povukla opet na gornju stanicu na taj način, da bi radnik na gornjoj stanici, rukom i prenosnim napravama okretajući vitao, sad namatao pogonsko uže. Na ovaj način odvijao se promet polagano

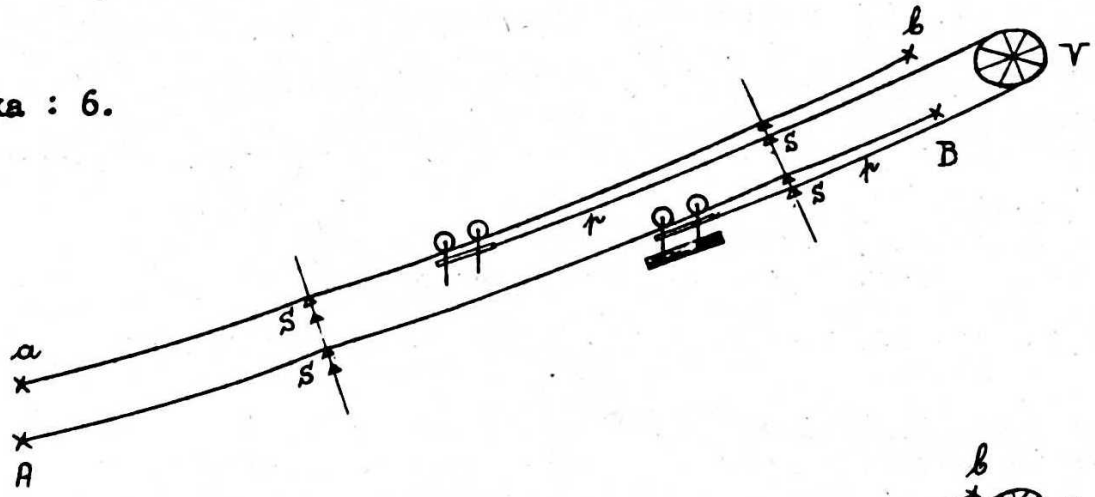


Slika : 5.

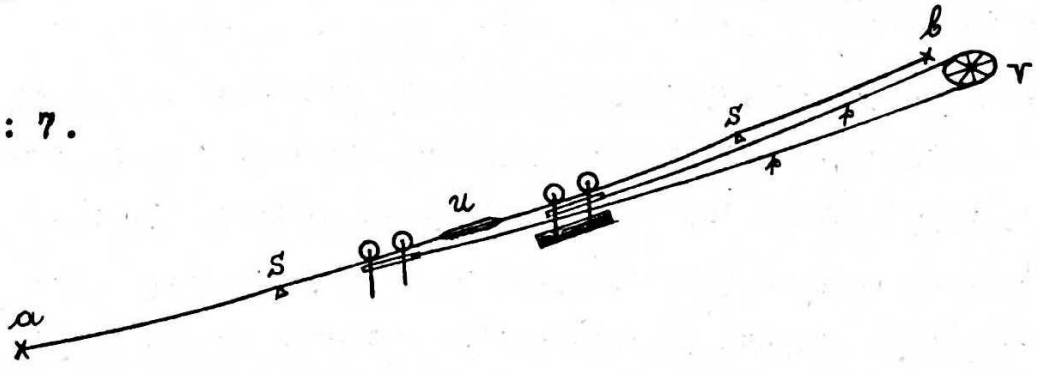
a efekat točila bio je malen. Da se tome doskoči, naročito prekidanju transporta za vrijeme dopreme praznih kolica na gornju stanicu, postupilo se na dva načina.

Prvi način shematski je prikazan na slici 6. Uz uže nosač za puna kolica (AB) paralelno položilo se još i drugo slabije uže (ab), da

Slika : 6.



Slika : 7.

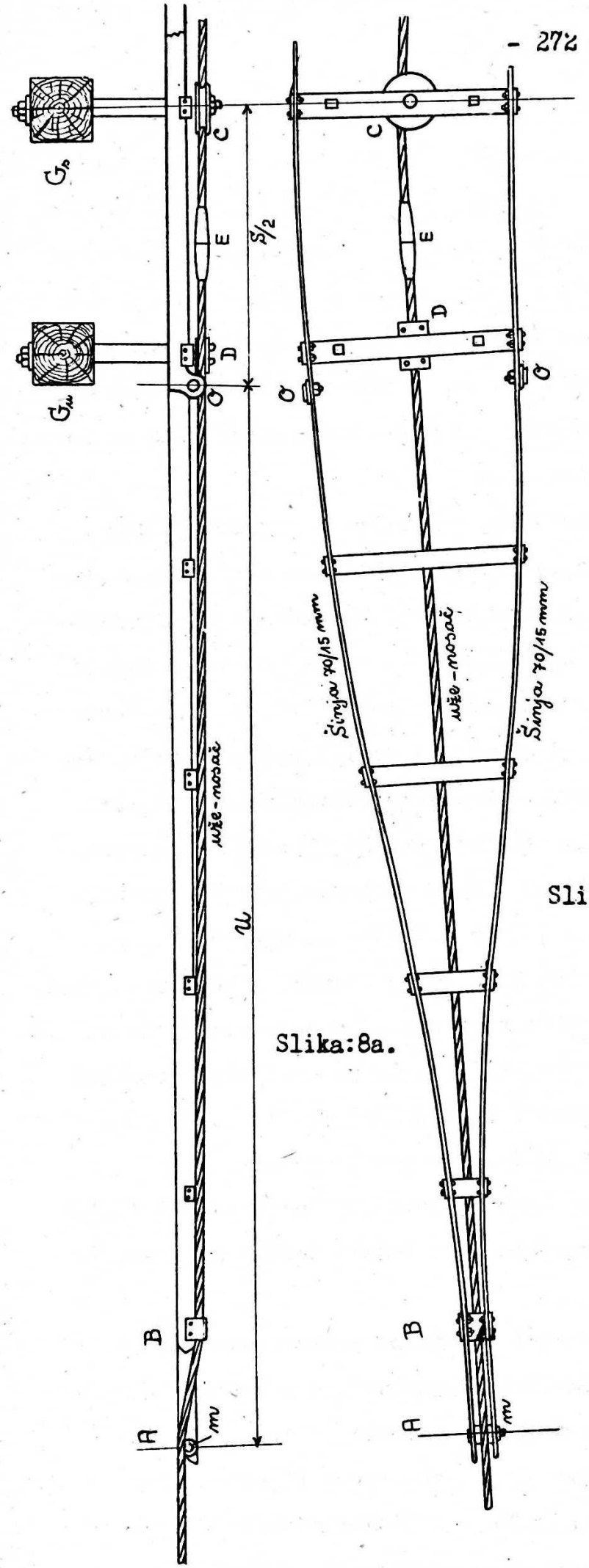


služi kao nosač za prazna kolica. Otvoreno pogonsko uže (p) obilazi vitao (V) na gornjoj stanici, a puna kolica silazeći prema donjoj stanici istodobno dižu prazna kolica prema gornjoj stanici / zračni čekrk /. Nosači kao i pogonsko uže poduprijeto je u primjerenim razmacima na zajedničkom stupištu / uporama S /. Najskupocijeniji dio žičare još i danas je uže nosač. Pogotovo pak nekad. Zbog toga, da se izbjegne dobavi drugog užeta nosača, a poluče s tim skopčane i druge uštede, drugo riješenje zračnog čekrk-točila udesilo se na način, shematski predočen na slici 7.-

Točilo ima samo jedan uže-nosač (ab), pa otvoreno pogonsko uže (p), koje obilazi vitao (V) na gornjoj stanici. I u ovom slučaju puna kolica silazeći istodobno dižu prazna kolica. Na sredini puta potrebno je bilo zbog toga udesiti ugibalište (u), na kojem će se mimoići puna i prazna kolica. Najjednostavnije riješio je to pitanje König / g. 1870 / na taj način, da je u sredini točila podigao skelu, koja je i ujedno podupirala prugu, a na skelu postavio dva radnika, koji bi podizali prazna kolica sa užeta nosača, prenijeli ih preko punih kolica, pa opet posadili na uže. U tu svrhu potrebno je bilo naravno usporiti brzinu jednih i drugih kolica na ugibalištu, pa sporazumijevati se sa kočničarom na gornjoj stanici s pomoću signala / rog /. Ovo riješenje, koje u ostalom zavisi o podesnosti tla za podizanje skele u sredini točila, nije moglo zadovoljiti potrebama prometa svuda ni na dugo vrijeme / osim u Schlierenthalu, Kanton Unterwalden, jedva je bilo igdje drugdje primjenjeno /.

Od ostalih pokušaja spominjemo samo Panzovo riješenje / 1876 /, jer po njemu konstruirana te izgradjena neka šumska točila u Sloveniji još i sad rade.

Slika 8a predočuje uzdužan prosjek / dotično pogled sa strane /, a slika 8b tlocrt Panzovog ugibališta žičnog točila u Podkoritu / Jelovac, kraj Bleda / i to samo u jednoj polovici / druga nenacrtana polovica je simetrična /. Sastoji od tri glavna dijela : od dva ulazna / dotično izlazna / dijela u, pa od srednjeg dijela S. Srednji dio S ovješen je i nepomično učvršćen na skeli, od koje su



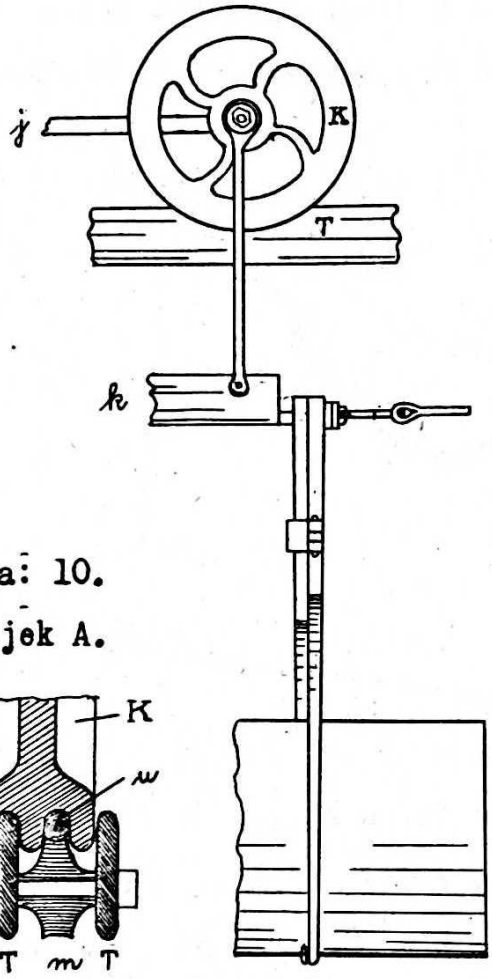
Slika:8a.

Slika: 8b.

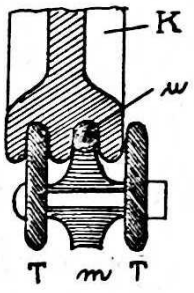
na slici 8a nacrtane tek grede G_u i G_s. Sredinom ugibališta prolazi uže nosač, a lijevo i desno od ovoga šinje, plosnato željezo, 70 15 mm. jako. Na početku kod točka A , mjedeni valjčić *m* podržaje uže-nosač u istoj visini sa tračnicama, koje na ovom mjestu leže tik uz uže. Slika 10 predočuje to mjesto u prosjeku, u većem mjerilu : obje tračnice(T) , medju njima valjčić(*m*), na kojem leži uže(*u*). Svi točkovi kolica imaju po dvije užljebine. Na tom mjestu(A) sjedi točak sa jednom užljebinom na užetu, a sa drugom užljebinom na šinji, na kojoj će kolica prolaziti kroz ugi-

balište. Na potezu A-B obje šinje teku gotovo posve paralelno sa užetom, koje se polako spušta tako, da u tački B leži već ispod šinja. Na tom potezu ispada dakle uže iz užljebine, a u tački B ispalo je već sasvim tako, da točak sjedi samo na šinji. Poprečan prosjek ugibališta na tom mjestu(B)predočuje slika 9. Vide se na njoj

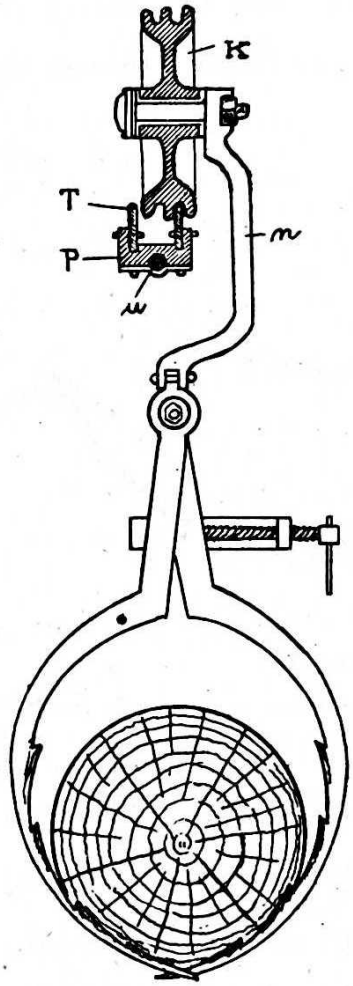
Slika : 9a.



Slika: 10.
Presjek A.



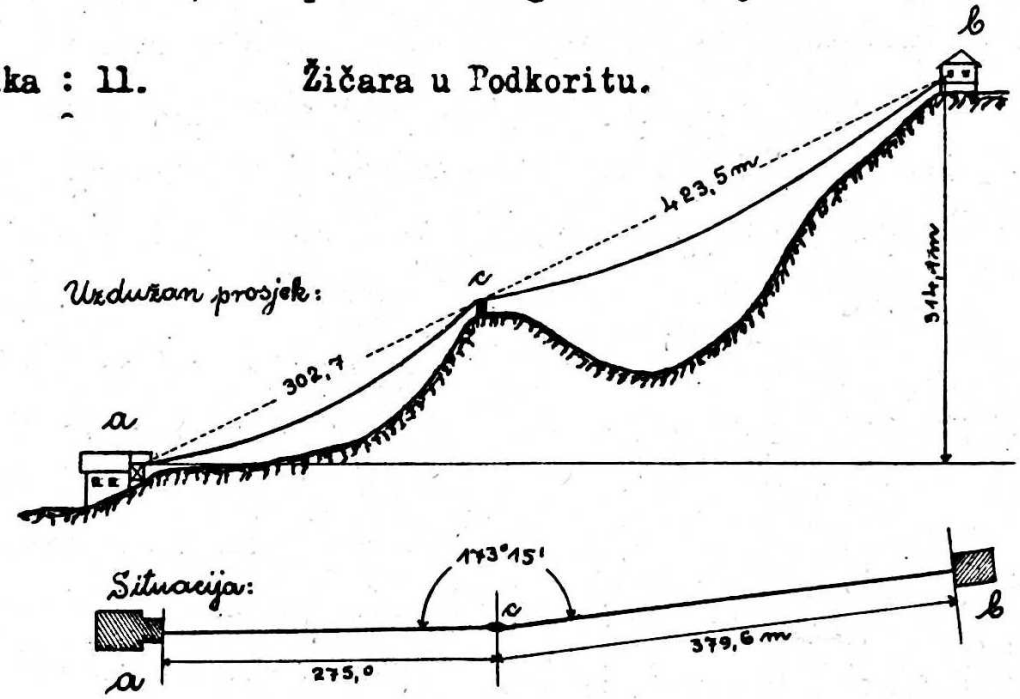
Slika: 9b.
Presjek B.



obje šinje(T), pa željezna prečka P, koja drži uže(w) ispod šinja. Na ovaj način prolazeći kroz ugibalište putuju puna kolica po jednoj šinji onamo, a prazna kolica po drugoj šinji ovamo. Treba ih tek pravilno smjestiti na uže t.j. tako, da će nosači kolica /m sl.9 / na ugibalištu ležati s vanjske strane. Kad izlaze kolica iz ugibališta na potezu B-A postepeno pak sjeda točak sa praznom užljebinom na uže. U tački A potpuno već sjedi na užetu i još uvijek na šinji ; malo iza tačke A sjedi pak samo na užetu, po kojem kotrlja dalje do stanice. Budući je ugibalište zajedno sa uže-

tom učvršćeno na skelu samo u srednjem dijelu (S), to se ulazni, pa izlazni dio ugibališta (U) pregiba zajedno sa užetom pod opterećenjem. Zbog toga su šinje ugibališta prekinute ispod grede G_u i spojene sa zglobom O / sl. 8a i 8b /. Iz slike 11 se razabire, da ovo točilo nije trasirano u pravcu u situaciji, nego u dva pravca, koji se lome na ugibalištu za 6°45'. Zbog toga nije ni ugibalište konstruirano u pravcu nego u blagoj krivulji. Poradi toga potrebno je bilo skrenuti uže iz jednog pravca u drugi s pomoću točka C / sl. 8a i 8b /. Ukupna dužina ugibališta mjeri 16 m, a najveći ra-

Slika : 11. Žičara u Podkoritu.

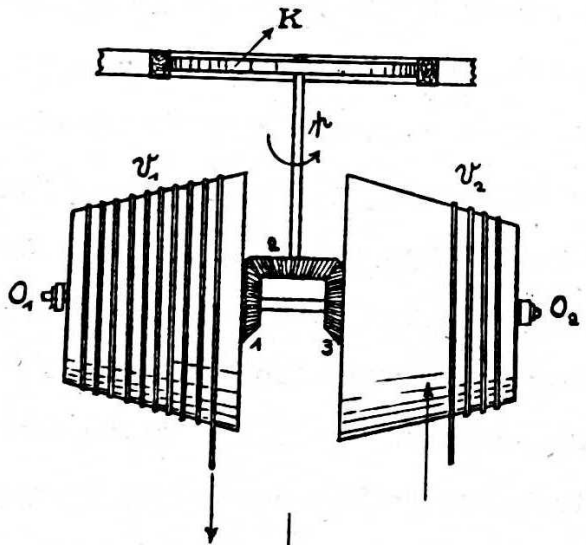


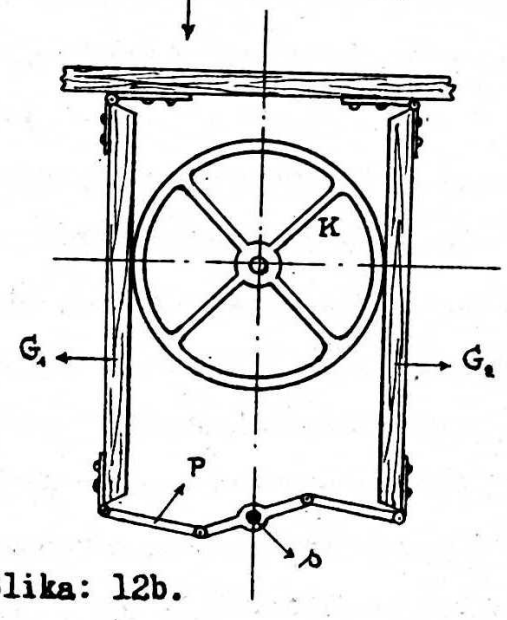
zmak šinja 1 m. Polumjer krivosti lukova, u kojima se šinje razmiču od tačke B , pa opet svraćaju na razmak od 1 m. u sredini ugibališta, mjeri 15 m. Uže nosač, sukan od žica od taljenog željeza, promjera 22 mm. / S_B = 19000 kg /, sastoji od dva komada, na ugibalištu spojena u jednu cjelinu / E sl. 8 /, pa fiksirana pritezaljkama / D sl.8 /. Napeto je bilo na jednoj (a) i drugoj stanici (b) s pomoću zupčanog vitla / t.j. vitao, koji se okreće rukom s pomoću poluge, nazubljene osovine i zupčanih točkova / na jednu šestinu napetosti sloma. Jedna kolica dozvoljeno je bilo opteretiti sa jednim trupcem najviše 58 cm promjera. Poslije je ovo uže zamijenjeno sa jačim, a prema tome i povećano dozvoljeno opterećenje. Kolica sastoje od dva točka / najveći promjer 32 cm /, spojena medjusobno sa dvije motke / j , k sl. 9a /. Teret / trupac / obuhva-

taju nazubljene škare, ovješene o kolica, a pritežu se tako čvrsto, da zupci zadiru u trupac. Na jednoj i drugoj stanici montirane su opet šinje, lijevo i desno uz uže u obliku polovice ugibališta, predočenog na sl. 8. Na taj način omogućeno je brže odvijanje transporta. Čim se krenu puna kolica sa gornje stanice sa jedne šinje, tovare se prazna kolica na istoj stanici na drugoj šinji.

Ugibalište ne leži u sredini točila. Gornji raspon / 423,5 m / duži je od donjega / 302,7 m, sl. 11 /. Da se kolica istodobno sastanu na ugibalištu, potrebno je, da se ova na dužem rasponu gibaju brže od onih na kraćem rasponu. Zbog toga vise kolica svaka na zasebnom pogonskom užetu, a svako uže na zasebnom vitlu. Oba vitla / V_1 i V_2 sl. 12a / izradjena u obliku prikraćenog čunja, a montirana su na zajedničkoj horizontalnoj osovini. Pogonsko uže namata se na plašt od užeg prema širjem kraju čunja / vitla /. I obrnuto: puna kolica silazeći sa gornje stanice odmataju pogonsko uže sa širjeg kraja, te okreću vitao V_1 , a preko koničnih i nazubljenih točkova 1 , 2 i 3 takodjer i vitao V_2 ,zbog česa se namata pogonsko uže sa donje stanice pokrenutih praznih kolica na užem kraju vitla V_2 . Puna kolica putuju dakle brže od praznih od gornje stanice do ugibališta,gdje se ukrštavaju, pa odavle

Slika : 12a.





Slika: 12b.

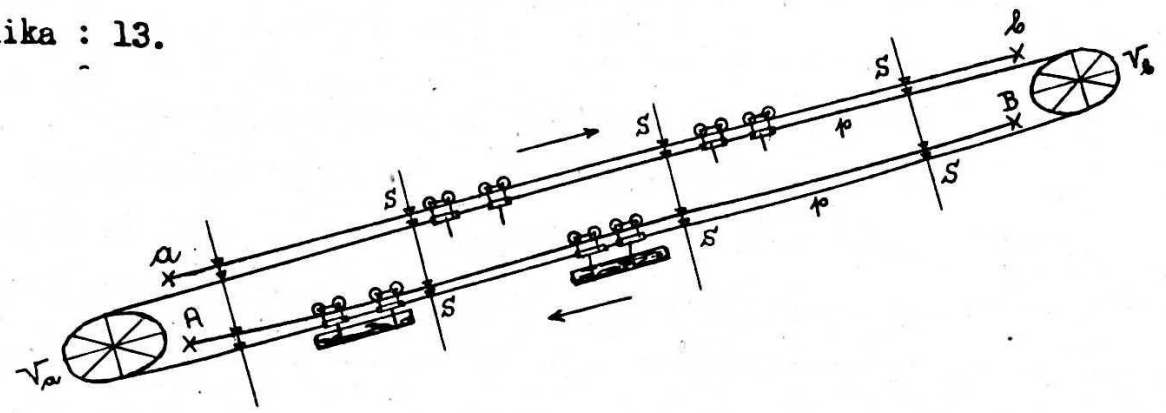
polaganije od praznih do donje stanice na ovaj način. Naravno, koničnost vitla udešena je srazmjerno sa dužinama jednog i drugog raspona točila, a izdjelane užljebine na plaštu vitla osiguravaju pravilno odmatanje i namatanje pogonskog užeta. Na vertikalnoj osovini (4) zupčanog točka 2 montirana je horizontalna kočna ploča / točak K sl. 12a i 12b /, koju koče paočne grede G_1 i G_2. Ove pak priteže ili opušta, već prema potrebi, zglobna poluga P, dotično kočničar s pomoću vertikane osovine 5 i na njoj montiranog horizontalnog ručnog točka.

Sa Panzovim riješenjem jednopružno zračno čekrk-točilo postiglo je svoju kulminaciju. Danas ima tek historijsko značenje i ne gradi se više. Iako se ne može poreći duhovitost s jedne strane, s druge strane kod ovog riješenja nijesu uzete u obzir mnoge u ono doba još nepoznate ili nedovoljno uvažene činjenice, koje su odlučile u korist dvopružnog točila. Tako na pr. nagli pregib užeta nosača na ugibalištu / a i na stanicama / u tačkama A i B izaziva veliko habanje užeta i naprezanje pregibanja, koje zajedno sa naprezanjem potezanja / zbog napetosti užeta / prelazi danas dozvoljenu granicu. Dvostrukim prometom / tamo i natrag / povrh toga opterećeno uže ne može da potraje dugo na ovaj način. Treba ga izmjeniti sa novim, u razmjerno kratko vrijeme, što je skopčano sa nemalim troškovima. K tome pridolazi komplicirana izradba dvostrukog vitla, troškovi ugibališta, točkove sa dvije užljebine, pa potreban oprez kod stavljanja kolica na uže, jednom riječju uredbe, kojih nema uopće ili su mnogo jednostavnije kod dvopružnog točila.

Osim toga odvija se transport na takovom točilu razmjerno polagano, baš poradi ugibališta, koje zahtjeva vrlo umjerenu brzinu. Veći trošak dobave i učvršćenja drugog užeta nosača, za prazna kolica dvopružnog točila, nadoknadjuje manje habanje, povoljnije naprezanje, dakle duže trajanje jednog i drugog užeta, pa manji troškovi za jednostavnije ostale uredjaje. Dvopružno točilo podnosi i veće opterećenje, a u svom konačnom obliku ima i mnogo veći kapacitet / efekat /. Taj konačan oblik shematski predočuje slika 13. I to je zra-

čno čekrk-točilo, a razlikuje se od onog, shematski predočenog na slici 6 po pogonskom užetu, koje je sada beskonačno t.j. zatvoreno / prije konačno t.j. otvoreno /. Ono ne obilazi samo vitao na gor-

Slika : 13.



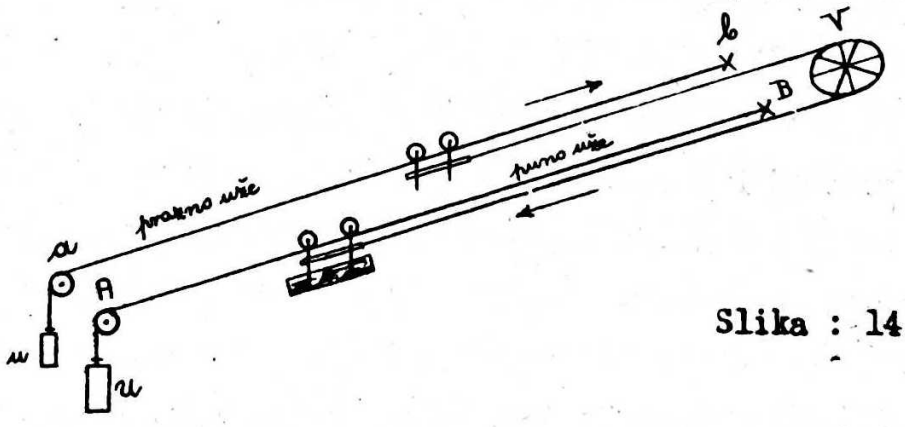
njoj stanici, nego i drugi vitao, montiran na donjoj stanici (V_a, čini dakle zatvoren, vještački nategnut prsten. Zbog takvog uredjenja moguće je otpuštati ne samo jedna nego i po više puna kolica, koja istodobno dižu po više praznih kolica već prema potrebi. I ovo je točilo poduprto na više mjesta (S) izmedju gornje i donje stanice, već prema prilikama terena i veličine čitavog uredjaja.

Izloživši ovako u glavnim crtama historijski razvitak zračnog točila, s naročitim obzirom na sudioništvo i potrebe šumarstva, ne ulazimo ovdje u daljnje kronološko opisivanje dotjerivanja pojedinih njegovih sastavnih dijelova, nego prelazimo na opis zračnog šumskog točila od žičnog užeta u današnjem dotjeranom obliku u cjelosti i u pojedinostima.

Zajedničko obilježje današnjeg točila od žičnog užeta takodjer je pogon, koga izvršuje gravitacija, pa linija pruge, koja je redovno pravac. Prosječan nagib pruge ograničen je zbog toga sa najmanjim iznosom od 15 %, u najpovoljnijim prilikama. Po mogućnosti ali neka nije manji od 25 %, da se i u općenitim prilikama postigne sigurno djelovanje gravitacije. Puna kolica silazeći naime ne dižu samo prazna kolica nego i s ovima skopčano pogonsko uže, a treba da svladaju još i trenje, koje se javlja duž pruge, zavisno o cjelokupnom uredjaju. Nagib jur izvedenih ovakovih šumskih točila kreće se redovno izmedju 30 i 50 %, ima ih izvedenih i sa nagibom od 18 do 20 %, kao što i sa nagibom od 75 %. Maksimalan nagib može doduše da pre-

siže i 100 %, no u tom slučaju potrebna je vrlo snažna kočnica kao što i vrlo solidna naprava za učvršćenje kolica na pogonsko uže . Dužina šumskih ovakovih točila redovno iznosi 500 do 1500 m. No ima izvedenih i preko 2400 m. dužine.

Točilo je redovno dvopružno. Kratko točilo sa manjim prometom izvodi se gdjekad i jednopružno po tipu sl.4, te se na njemu odvija promet na način opisan uz tu sliku. Dvopružno točilo gradi se po tipu slike 6 / sa otvorenim pogonskim užetom / ili po tipu slika 13 / sa zatvorenim pogonskim užetom /. Na dvopružnom točilu sa otvorenim pogonskim užetom odvija se promet slično, kao na pozemnom čekrku / čekrk-točilo /. T.j. na jednom i drugom užetu nosaču otpremaju se naizmjence puna kolica dolje, a prazna gore. Zbog toga oba nosača treba da su jednako jaka, t.j. jednakog promjera. Iznimno može biti jedno uže jače, a drugo slabije, ako medju stanicama nema stupova / točilo samo sa jednim rasponom sl.14 /. Po jačem t.z. punom užetu silaze natovarena kolica, a po t.z. slabijem užetu dižu se prazna kolica. To je pak jedino moguće uz premještanje kolica na stanicama. Puna kolica, kad stignu na donju stanicu, valja poslije ispražnjenja prenijeti sa punog na prazno uže, a prazna kolica, kad stignu na gornju stanicu, sa praznog na puno uže, pa tek onda natovariti. Na taj način ukrštava se pogonsko uže, a zbog tog ukrštavanja lako bi nastale smetnje u prometu, kad bi nosači bili poduprti osim na stanicama još i na stupovima medju njima . Na dvopružnom točilu sa zatvorenim pogonskim užetom odvija se promet tako, da se pogonsko uže giba uvijek u istom smjeru / sl. 13 /.

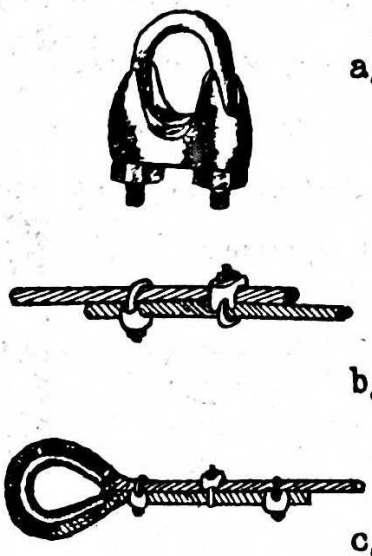


Slika : 14.

Puna kolica putuju uvijek po jednoj strani, a prazna po drugoj. Zbog toga i može biti puno uže uvijek jače / skupljije /, a prazno uvijek slabije / jeftinije /. Prema dvopružnom točilu sa otvorenim pogonskim užetom, koje traži na obim stranama jednako jako / skupo / puno uže, ipak je kod dužina manjih od 800 m. dvopružno točilo sa zatvorenim pogonskim užetom skupljije, jer traži duže pogonsko uže, osim na gornjoj još i povratan vitao na donjoj stanici, pa s ovim skopčane druge naprave.-

Bitna razlika izmedju starijih i novijih žičara leži u užetu nosaču. Uže nosač modernih žičara uvijek je spiralno uže. Iznimku čine kratka točila / < 300 m /, kod kojih je gdjekad nosač još i danas uže, sukano od usučaka. Kod starijih žičara prevladava posljednje uže i kao nosač. Uže nosač modernih žičara razapeto je uvijek s pomoću utega / ω i $\mathcal{U}$ sl. 14 /. Iznimku čine opet kratka točila manja od 300 m, kod kojih se napinje uže nosač još i danas kao nekad kod starijih žičara s pomoću vitla. Spiralno uže ne podnosi savijanje u luku malog polumjera krivosti. Zbog toga ne učvršćuje se sa krajevima nikad neposredno, nego posredno, s pomoću lanca ili redovitije s pomoću užeta, sukanog od usučaka, pa prikopčanog na spiralno uže na jednom i drugom kraju. Jedno i drugo uže može se spojiti s pomoću kolčak-spojke, koju lako prelazi i točak / isp. poglavlje "Žično uže" slika 10 str.225, pa sliku 21 / ili običnije s pomoću zubne spojke / sl. 15a /, koja spaja krajeve užeta na način predočen na slici 15b. Ovakav spoj tako je čvrst, da obično prije popusti uže nego spojka. Spojke se naručuju naravno prema užetu. Treba li izraditi ušicu na kraju užeta i ta se učvršćuje s pomoću zubnih spojka na način predočen na slici 15c. Ušica se oblaže sa unutarnje strane čeličnom obložnom

Slika · 15.

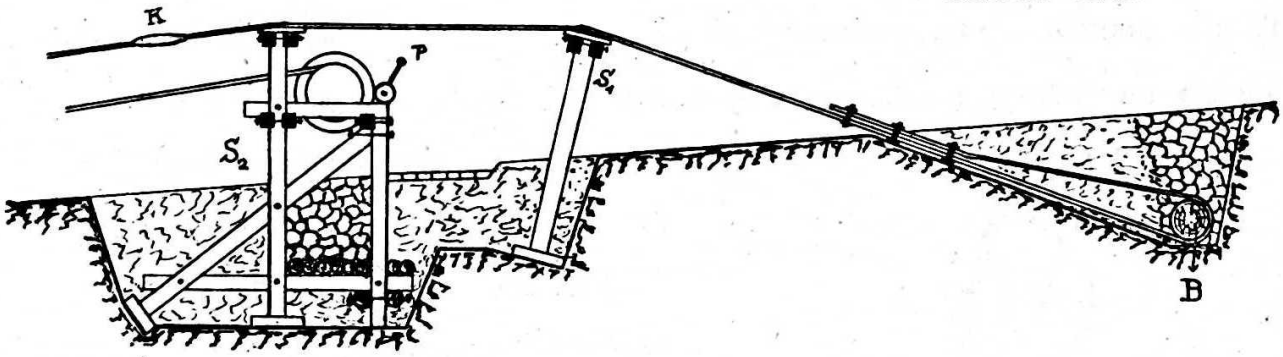


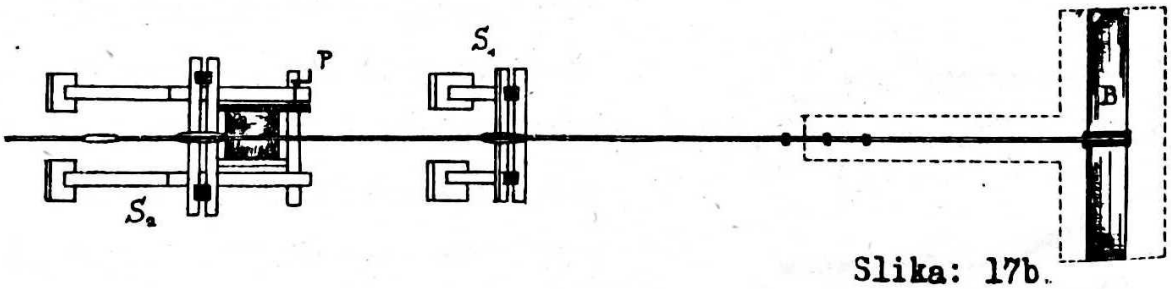
pločicom, da se zaštiti od habanja. Privremeno, a slabija užeta i definitivno, spajaju se s pomoću pločica-štipaljka, predočenih na slici 16.

Slika: 16.

Na jednom kraju, redovno na gornjem, uže-nosač usidren je čvrsto u tlo. Kod manjih uredjaja / < 300 m / čini se to na način, opisan kod žičnog točila, a još i i tako, da se 2,0 do 2,5 m duboko u tlo ugradi suhozid a u suhozid 30 do 40 cm jaki, 3,0 do 3,5 m dugačak stup; tlo oko suhozida dobro se nabije; uže omota oko stupa nekoliko puta, a slobodan okrajak pričvrsti na uže s pomoću spojka. Slika 17 predočuje drugi način učvršćenja. B je u zemlji ukopan i s kamenometom zatrpan balvan, o koji je učvršćeno uže, sukano od usučaka. Ovo se vodi preko stupišta S_1 i S_2 na otvorenu prugu do spiralnog užeta, s kojim ga spaja kolčak-spojka K . Na stupištu S_2 mon-

Slika: 17a.

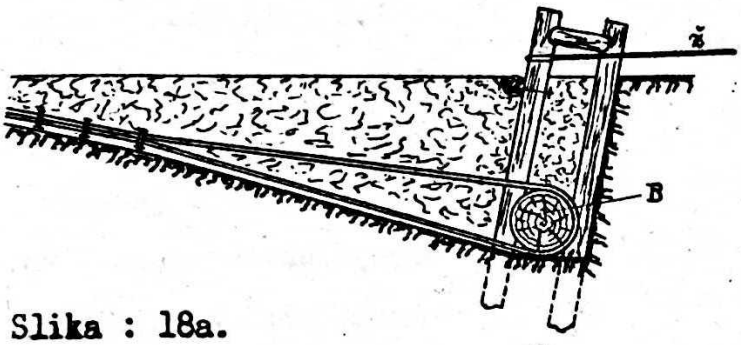




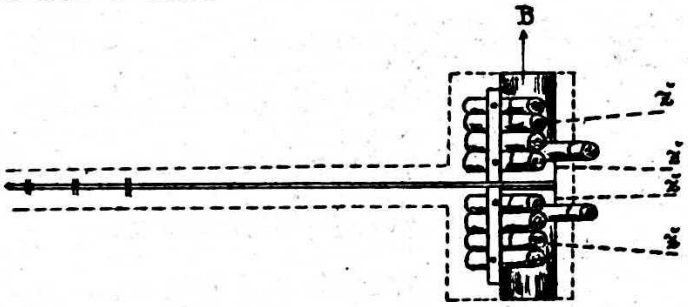
Slika: 17b.

tiran je vitao, koga koči kočnica, kad se teret spušta niz točilo, a okreće prenosna naprava sa ručnom polugom (P) kad se namata pogonsko uže na vitao i dižu prazna kolica na gornju stanicu. Ovakav u-

redjaj može poslužiti i kao mala uspinjača, na ručni pogon. Namjesto kamenometa može poslužiti za učvršćenje balvana (B) takodjer pilotaža / sl. 18 /. Pojedine pilote mogu se za veću sigurnost povezati žicama (ž) još i o najbliža stabla. Učvršćenje užeta s pomoću drvenog sandučnog skeleta, opterećenog kamenom i ukopanog u zemlju predočuje slika 19a u presjeku, a slika 19b u tlocrtu. Veličina sanduka zavisi naravno o napetosti užeta. Ako je ova velika, a sanduk ne dostaje, uže se učvršćuje u betonski zid, ugradjen u zemlji, ili u kombinaciju betonskog zida i suhozida prema sl.20. Spiralno uže priključuje se s pomoću kolčak-spojke / K ,sl. 21 / na jednako jaku željeznu motku (M), koja je s jednim krajem ušarafljena u kolčak-spojku (K) a sa drugim krajem naročitom spojkom spojena

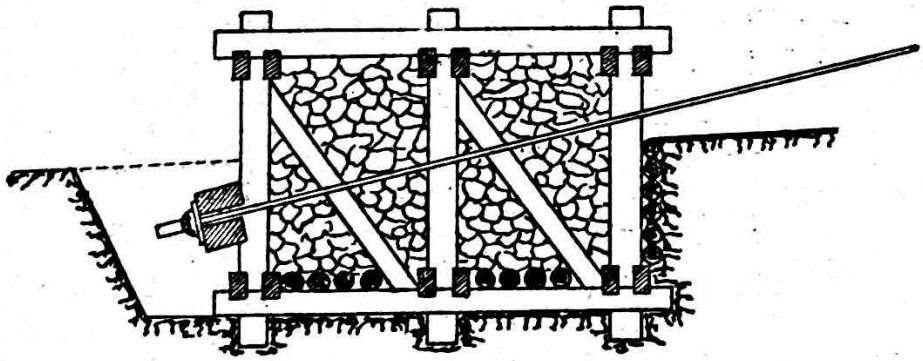


Slika : 18a.

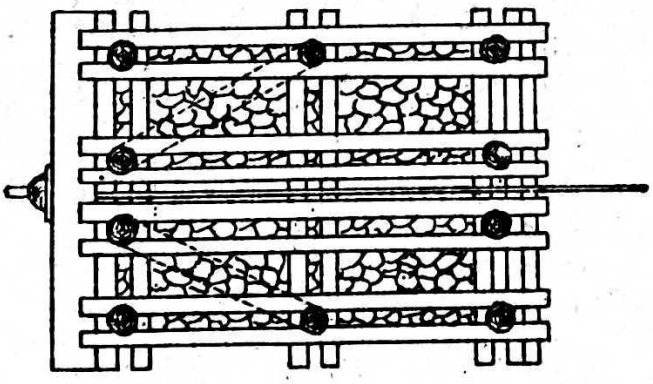


Slika : 18b.

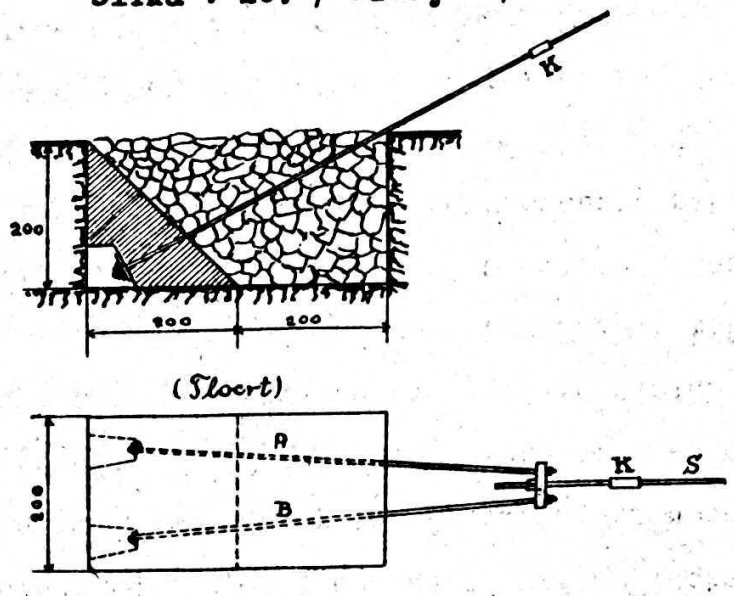
Slika : 19a. / Presjek /

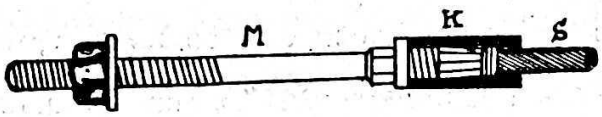


Slika : 19b / Tlocrt /



Slika : 20. / Presjek /

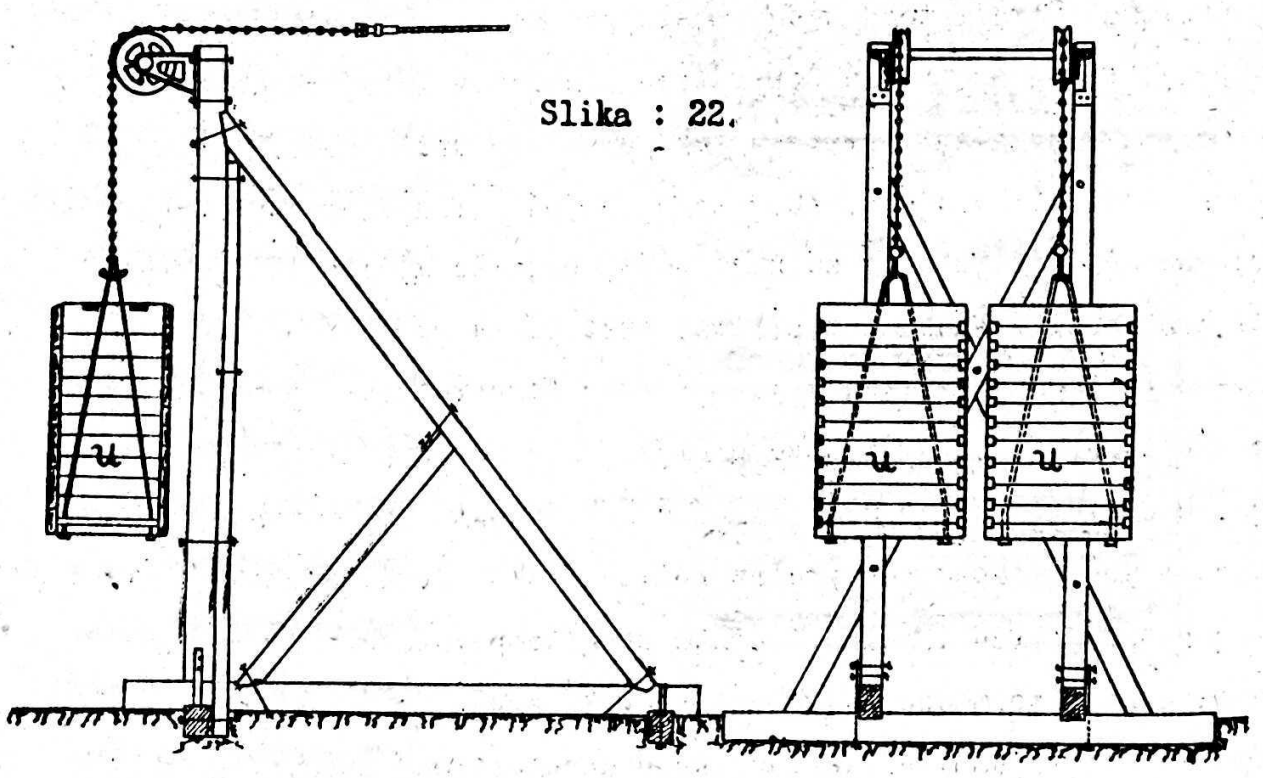




Slika : 21.

sa donje dovoljno jake masivne žice (AB) ugradjene i učvršćene u betonski zid. S time nijesu naravno iscrpljeni svi mogući načini fiksiranja jednog kraja užeta nosača. Već prema prilikama u konkretnom slučaju učvršćuje se uže i na druge načine. Ako je na pr. gornja stanica zbog drugih još potreba izgradjena u obliku jakog drvenog / željeznog / skeleta učvršćuje se uže nosač gdjekad posredno preko tog skeleta o čvrsto tlo.

Slika : 22.



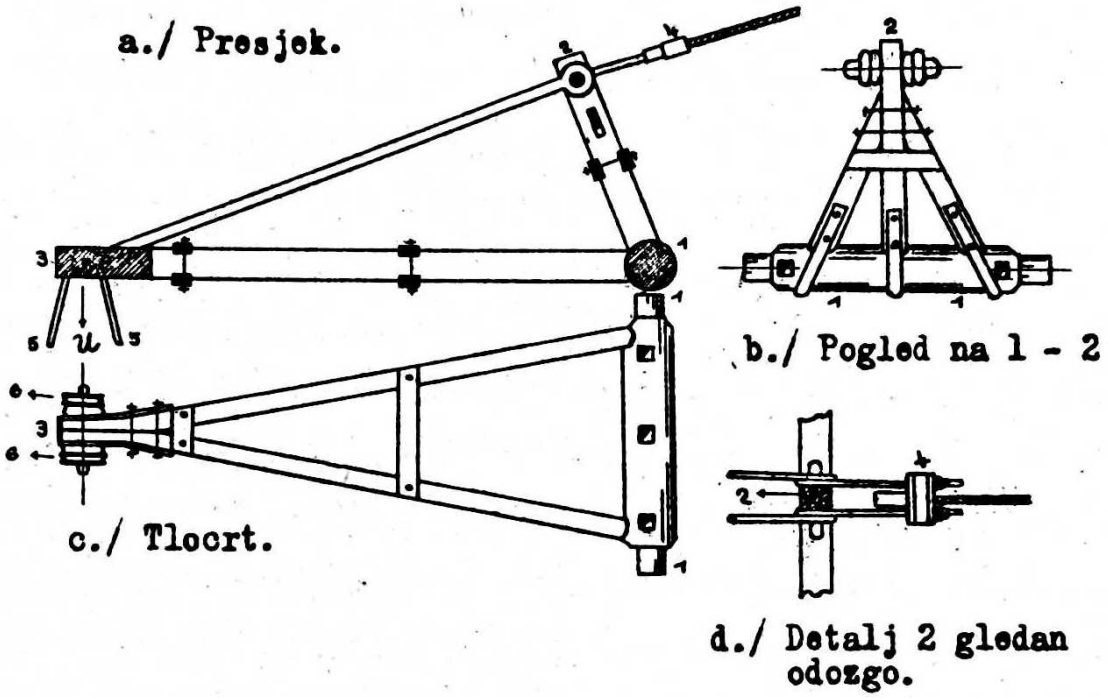
Drugi kraj užeta nosača opterećen je sa utegom(U). Težeina utega jednaka je 1/4 - 1/6 napetosti užeta na granici čvrstoće potezanja(S_B). Dakle $U = 1/4 \sim 1/6\, S_B$ Uteg razapinje uže, a njegovu potrebu obrazlažu ove činjenice: Dok se kolica gibaju, uže-nosač pregiba se pod njima, te neprestano mijenja svoj oblik. Poželjno je pak i potrebno, da je uže uvijek jednako napeto. Uz različiti oblik moguće je to samo, ako ono istodobno mijenja i dužinu. Na kraju užeta ovješeni uteg dizanjem i spuštanjem omogućuje promjenu dužine, a stalna težina utega osigurava uvijek istu napetost u užetu. Zbog toga, ako je uže poduprto ne samo na krajevima, nego i medju njima, onda je potrebno, da je poduprto pokretljivo, da se lako pomiče preko upora, da lako promjeni dužinu po potrebi. Ležaje na uporama / stupovima, stupištu / poradi toga treba udesiti tako, da uže lako prolazi preko njih sa što manje trenja. Najveća neprilika starijih žičara upravo je nepomično učvršćenje užeta nosača na krajevima, pogotovo takovo učvršćenje još i na medjuuporama. Kolica zapinju na njima. Ovu poteškoću otstranjuje uteg gotovo posvema, a kako i zašto, obrazloženo je još bolje u tačci 11, poglavlja " teorija zračnih žičara ". Uteg je montiran samo na jednom kraju, a treba da djeluje do drugog kraja i onda, kad je uže nosač poduprt još i sa medjuuporama. Poradi toga uteg, djelujući na koje od udaljenih polja, najprije treba da svlada otpor trenja na svim ležajima do tog polja, a kad su ti svladani, nastupa tek pomicanje užeta-nosača i izjednačenje napetosti u njemu. Zbog toga, a još i drugih razloga radi, redovno se stavlja uteg na najdublje, najniže mjesto linije točila ili zračne žičare. Nuždom prilika otstupa se gdjekad od tog pravila.- Osim toga uže mijenja dužinu zbog temperature i prometa. Ako je uže napeto sa utegom, ove promjene nijesu od praktičkog značenja. Uteg dakle osigurava jednoličnu napetost i naprezanje u užetu u svako doba i nesmetan prelaz kolica preko upora, a uklanja nepovoljne posljedice istezanja užeta zbog temperature i prometa. Kad bi bilo uže nepomično učvršćeno o svaki svoj ležaj, pod prometom nastale bi u njemu velike razlike u napetostima, nepovoljna napre-

sanja, nesiguran prelaz točkova preko ležaja i nepovoljno istezanje užeta zbog utjecaja temperature i prometa. Nepomično učvršćenje užeta i na drugom kraju, namjesto utega, ima dakle mjesta i opravdano je samo kod manjih točila / < 300 m. / jednog raspona, kod kojih teret ne prelazi preko ležaja, dotično preko mjesta, na kojima je uže nepomično učvršćeno.

Slika 22 predočuje učvršćenje jednog kraja užeta-nosača, s pomoću utega, konstruirano g. 1870 po mašinskom inženjeru Adolfu Bleichertu. Na uže-nosač ukopčan je lanac, a na ovome visi uteg, drvena škrinja, ispunjena kamenom. Lanac obilazi točak, montiran na vrhu stupa visoko toliko, koliko je potrebno i dovoljno za automatsko dizanje i spuštanje utega. Slika predočuje ujedno i detalj prve dvopružne pruge, koja pokazuje već sve elemente modernih žičara. Naročito ovo učvršćenje malo se mijenja i kod poznijih žičara. Skelet škrinje, prizmatičkog a i valjkastog oblika, izvodi se gdjekad i od željeza, a namjesto kamena kao opterećenje služe još i betonske ploče / kocke, prizme /, naslagane jedna na drugu. Lanac, jer brzo propada, zamjenjuje uže, sukano od usučaka, koje redovno mazano, traje duže, i bolje se priključuje na spiralno uže-nosač. Uteg je smješten nadzemno, a i pozemno gdjekad, već prema čitavom uredjaju stanice. Gdjekad ne visi slobodno, nego klizi ili kotrlja po strmoj kosini. Veličina i težina utega može se smanjiti, a da se pri tom ne smanjuje efekat, ako se uteg montira posredno, preko poluge, na uže-nosač. Slika 23 predočuje jednu takovu konstrukciju za manje točilo / Hanusch /. Poluga je trokut 1-2-3, koji se okreće u čvrstim ležajima balvana 1-1. Nosač, spiralno uže, ukopčan je na polugu na mjestu 4 / detalj sl.23d / . Uteg visi na užetima 5 , ovi opet na točkovima 6 , koji su montirani na kraju poluge 3 . Donji dio poluge 3 - 1 , pa postrani dio 1 - 2 , rašljatog oblika, izradjeni su od drva; dio 3 - 2 , dvije motke, kružnog presjeka, od željeza. Vlada li u užetu-nosaču napetost S , mora biti $\overline{12} \cdot S = \overline{13} \cdot U$; budući je $\overline{13} > \overline{12}$, na taj način je $U < S$. Izvadjaju se takodjer razne kombinacije, da se

na pr. da se uteg stavi na strmu kosinu, pa s polugom prikopča na uženosač. Najčešće visi uteg slobodno i vertikalno bez poluge na užetu nosaču.

Slika : 23.

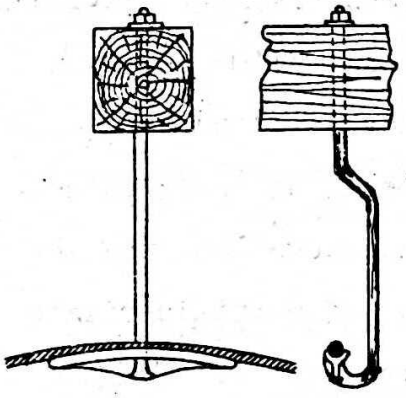


Za slobodno pokretanje bilo bi najzgodnije kad bi uže nosač počivao na valjcima. Medjutim opterećenje užeta-nosača na ležaju znatno je nepovoljnije od opterećenja pod točkom kolica. Teret kolica lako se razdijeli na više točka, već prema potrebi tako, da ukupno naprezanje u užetu-nosaču leži u dozvoljenim granicama. Na ležaju djeluje osim točka kolica još i uporišna reakcija. Oboje zajedno napreže uže vrlo nepovoljno, a osim toga, u slučaju valjka, na osovini nastaje veliko trenje zbog velikog ukupnog pritiska. Zbog toga prije običajni valjci danas se više ne upotrebljavaju, nego namjesto ovih naročiti ležaji, ljevani iz željeza ili čelika, dugoljastog oblika, svedeni u luk kružnice, najčešće polumjera 3 do 5 m., 0,6 do 1,5 m dugački, 20 do 60 kg teški, na gornjem kraju providjeni sa užljebinom, u kojoj sjedi uže, kao noga u cipeli / Auflagerschuhe /. Rubovi užljebine izdignuti su i izradjeni tako, da točak kolica ne sjedi na užetu, nego na tim rubovima, kad prelazi preko ležaja. Na taj način oterećeno je uže na ležaju od pritiska kolica posvema, a djelovanje uporišne reak-

cije ublaženo je s time, što je raspodijeljeno na veći dio čitave dužine ležaja. Mastan namaz olakoćuje pak pokretanje užeta preko ležaja. Koeficijenat trenja izmedju užeta i ležaja iznosi, već prema mazanju 0,1 do 0,3 . Bolje je mazati malo i često, nego obilno i rijetko. No i unatoč mazanju najbrže se troši uže na ležaju. Zbog toga dobro je pomaknuti uže od vremena do vremena za par metra tako, da drugi dijelovi užeta dodju na ležaje. Na taj način troši se uže jednoličnije po cijeloj dužini, pa zato i duže traje.-

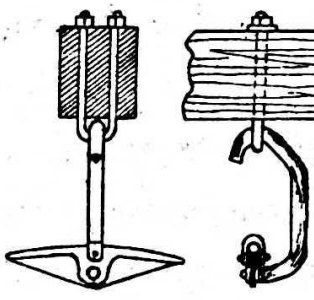
Slika : 24.

a./ b./



Slika 24 predočuje čvrsti ležaj omanjeg točila i to a/ u pogledu sa strane i b/ u prosjeku. Motka, koja drži ležaj, savinuta je koliko je potrebno za nesmetan prolaz točka kolica. Svi ležaji treba da leže naravno tačno u liniji točila. Zbog toga se rado upotrebljava, namjesto čvrstog, pomičan ležaj predočen na slici 25 / njihaloležaj /. Nije li naime ovakav ležaj montiran posve tačno u liniji točila, stavlja se samo u nju, kad uže bude napeto. Ovaj ležaj providjen je i sa obimkom, koja s gornje strane obima uže, da ne ispane lako iz ležaja. Slika 26 predočuje čvrsti ležaj ovećeg točila u uzdužnom prosjeku (a), tlocrtu (b) i u poprečnom presjeku (c). Ovakav veći pomičan ležaj / cca 1,4 m dug, 60 kg

a./ b./

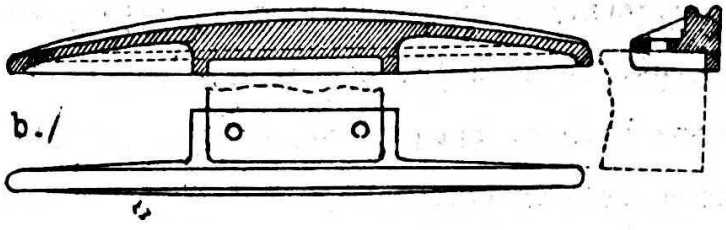


Slika: 25.

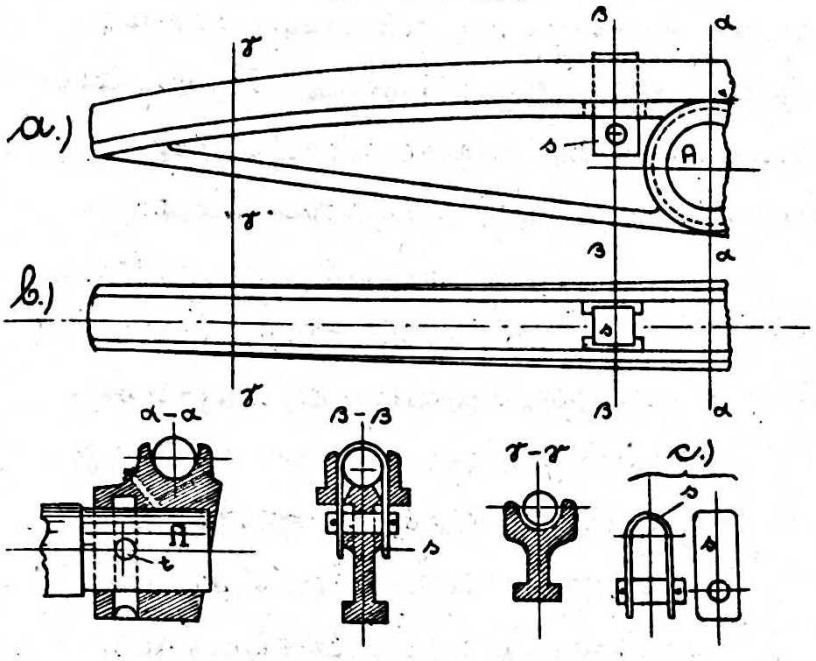
Slika : 26.

a./ c./

b./



Slika : 27.

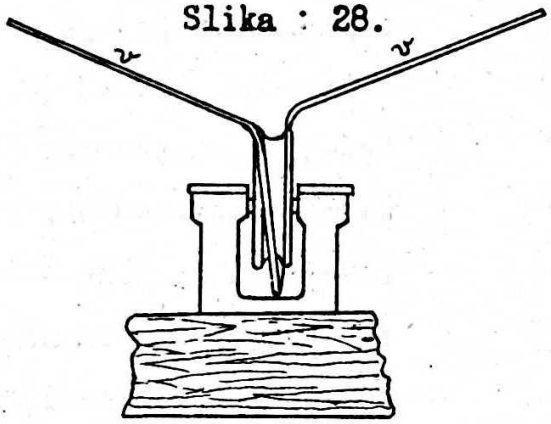


težak, iz ljevanog čelika / predočuje pak slika 27 u pogledu sa strane (α) i odozgo (b), zatim u poprečnim presjecima α-α, β-β i γ-γ. Ležaj se okreće oko čvrste osovine (A), a veže ga s njome trnak (t) tako, da ne može ispasti. Providjen je i sa dvije obimke (s), lijevo i desno od osovine (A), koje, u svrhu učvršćenja, prolaze kroz rupe, probušene u žlijebu ležaja. Pokretljiv ležaj olakšava montiranje. Svaki ležaj naime treba montirati tako, da njegova osovina raspolavlja kut kogà čini nad ležajem osovina užeta s jedne i s druge strane. U tom smislu učinjena pogreška kod pokretljivog ležaja nije od tolikog značenja kao kod čvrstog; osim toga pokretljiv ležaj slijedi pregibanje užeta, bolje mu se dakle prilagodjuje.

Pogonsko uže treba takodjer voditi i poduprijeti. U tu svrhu služe naročiti točkovi montirani na istim stupovima i uporama, na kojima su učvršćeni malo prije opisani ležaji. Promjer točkova mjeri 20 do 60 cm, obično 25 cm. Točkovi većeg i najvećeg promjera smješteni su redovno na izloženim mjestima, na oštrijim prelazima pruge. Pogonsko uže štedi se od habanja to više, što su ti točkovi lakši, što se više okreću sa brzinom samog užeta. Poradi toga se grade danas uski i laki. Vanjske ploče točkova, koje čine obrub užljebine, tiješte se iz željeznog lima, a unutarnji prsten, koji čini dno užljebine, a troši se najbrže, od mekanog ali žilavog taljenog čelika ili lijevane bronce. Spojeni su pak ti dijelovi medjusobno tako, da se nakon istrošenja srednji dio lako izmjeni sa novim. Pogonsko uže spojeno je sa kolicama i zbog toga mjenja

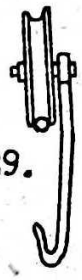
svoj položaj u prometu. Diže se sa povodnih točkova, pa opet spušta na nje. Uz točkove montirane su poradi toga željezne vilice, kružnog prosjeka, koje u posljednjem slučaju dovode uže opet tačno u užljebinu točka / vidi sl. 28,35 /. Kod šumskih točila provodni točkovi pogonskog užeta smješteni su redovno 3 do 3,5 m ispod ležaja užeta-nosača, da ne smetaju prolaženju ovješenih kolica sa teretom. Općenito ali smještavaju se i u istoj visini sa ležajima nosača, dapače i povrh ovih već prema tipu žičare i mjestu na kome su kolica ukopčana na pogonsko uže. Povodni točkovi okreću se u naročitim ležajima, koje treba pomno i redovno uljiti.

Slika : 28.



Otvoreno pogonsko uže, a i zatvoreno preko velikih raspona, podržavaju na užetu nosaču naročiti točkovi / Seilreiter, Zugseilträger /, koji se otpuštaju sa gornje stanice u razmacima od 50 do 60 m / sl.29 /. Na taj način spriječavaju preveliko pregibanje pogonskog užeta.

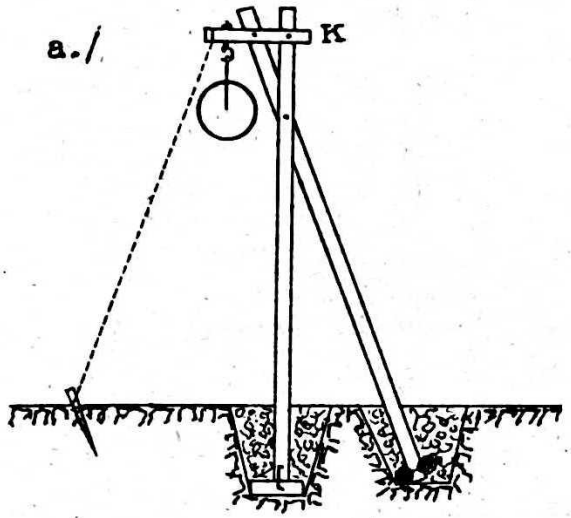
Slika: 29.



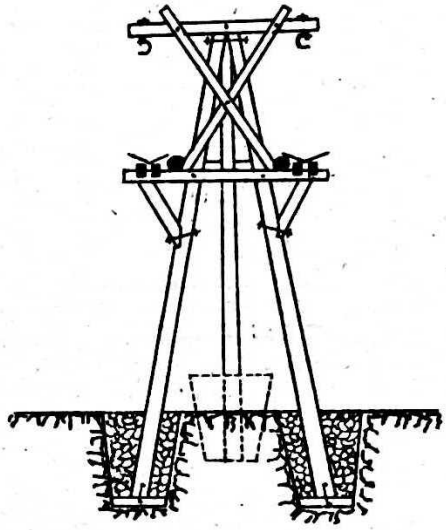
Uže nosač i pogonsko uže poduprto je sa uporama na otvorenoj pruzi. Nevisoko jednopružno točilo, udešeno za malen teret, podupire se gdjekad na način, predočen na slici 30 i 31, t.j. sa stupištem, izradjenim od dva do tri stupa, koja se ukrštavaju Na vrhu stupišta montirana su jedna kliješta (K), a ispod ovih i druga (k) , ako treba. Na prvima visi uže-nosač, a na drugima pogonsko uže, kao na vješalima. Stupište je ukrućeno još i žicom o čvrsto tlo ($ž$). Općenito se ovaj oblik ne preporuča, jer se kliješta pod opterećenjem pregibaju / konzola / i to s tim većma što je opterećenje veće; zbog toga opet uže ne sjedi sigurno na ležaju. Analogan oblik stupišta za dvopružno točilo predočuje slika 32 . Iz istih razloga i ovo se upotrebljava danas rijetko. Najbolje se

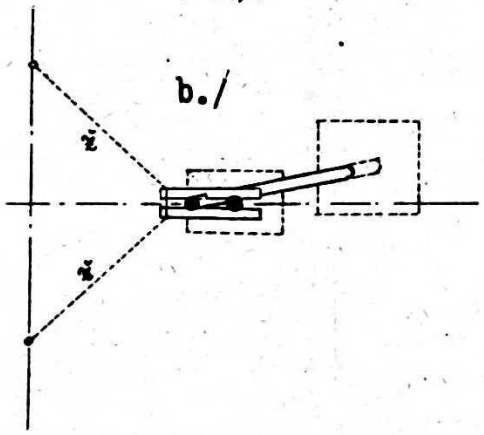
pokazalo, i zbog toga najčešće se danas gradi stupište u obliku okvira / vratiju /. Slika 33 predočuje takovo stupište sprijeda i (a)

Slika : 30.



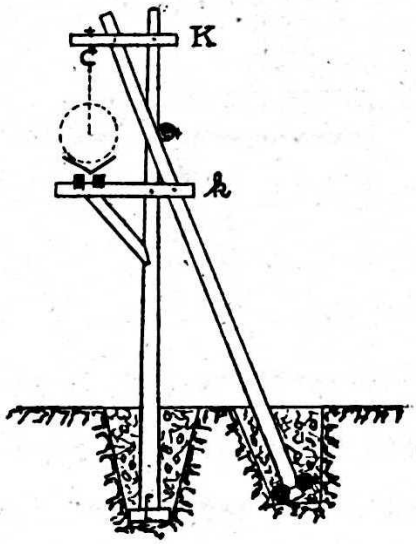
Slika : 32.



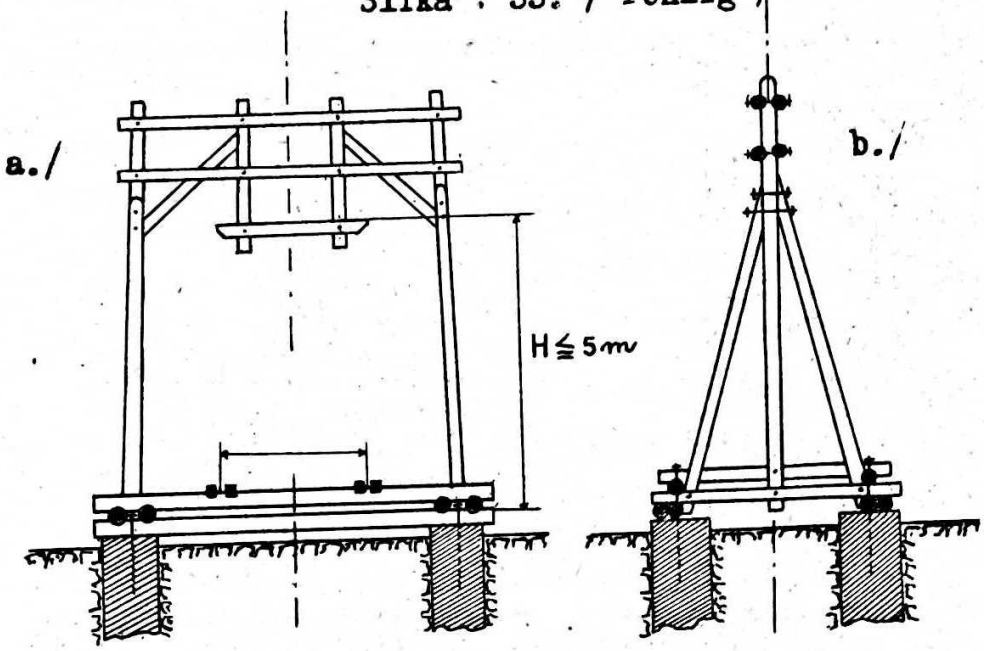


Slika : 31.

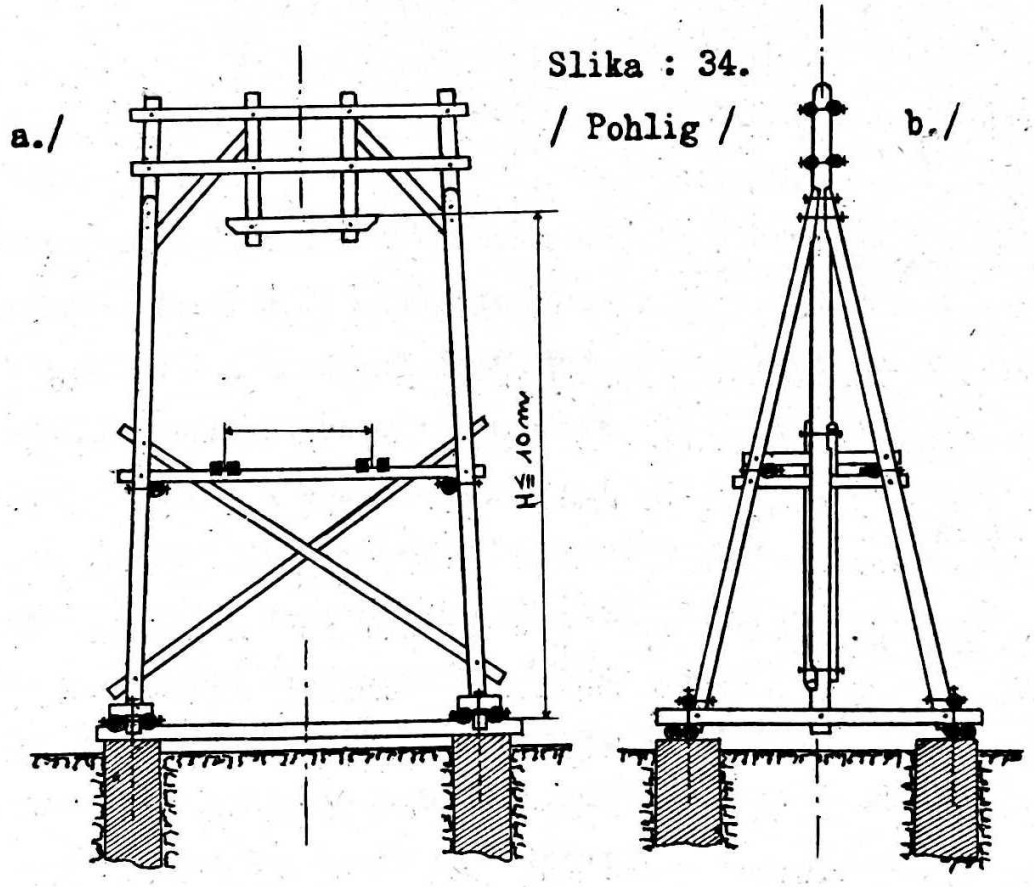
sa strane (b) do 5 m visoko, a slika 34 a) i b) do 10 m visoko. Sva ta stupišta u šumske / a i u druge / svrhe redovno su izradjena iz oblog ili poluoblog / sporedan vez / drva. Tek grede / kliješta /, na kojima su montirani ležaji za uže nosač, pa sprovodni točak za pogonsko uže, izradjeni su četverobridno. Podnožje stupišta gradi se redovno od drva, još bolje i trajnije od betona. Drveno podnožje sačinjavaju u zemlji zabiti / sl. 35 / ili ukopani impregnirani piloti. U posljednjem slučaju jame se zatrpaju masnom ilovačom ili glinom. Drveno stupište spojeno je sa betonskim podnožjem / pilovima / s pomoću dovoljno duboko ugradjenih svornica. Uže-nosač i pogonsko



Slika : 33. / Pohlig /

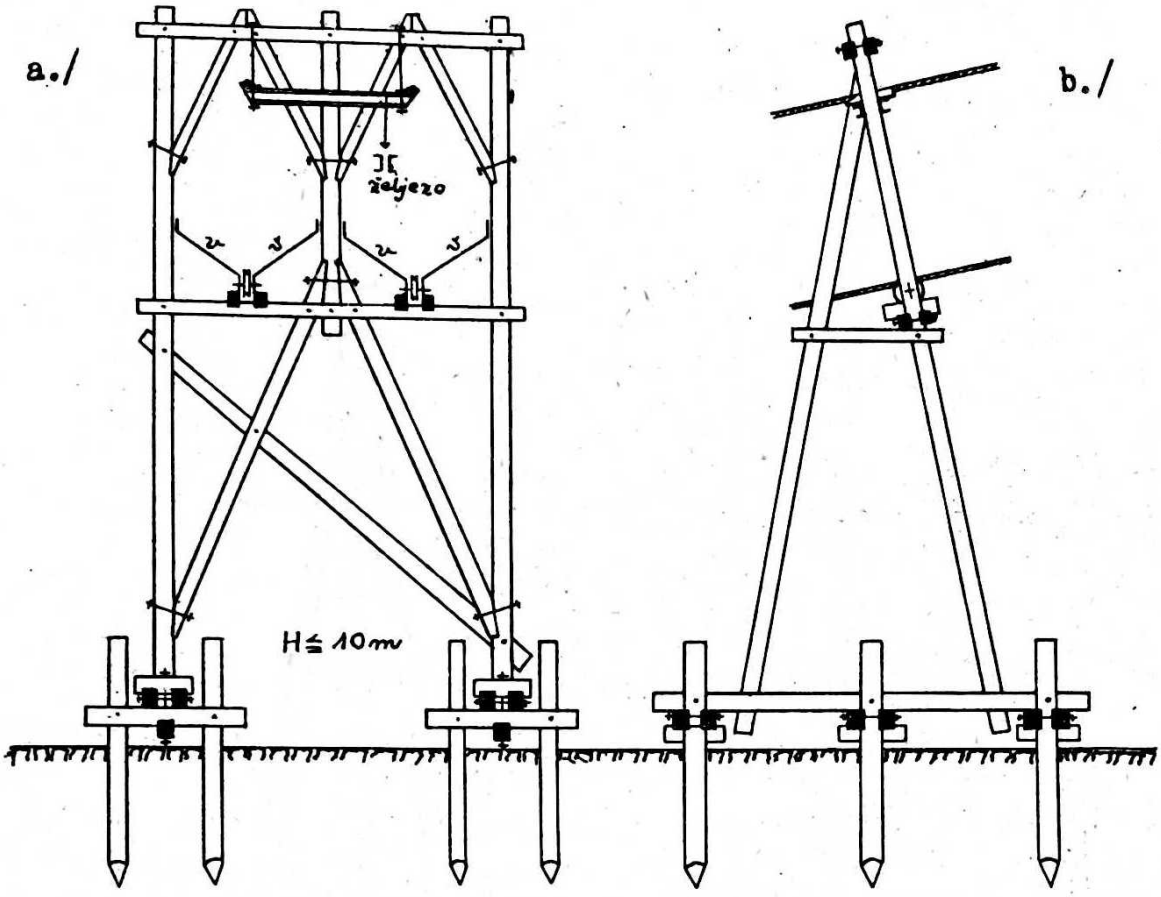


Slika : 34.
/ Pohlig /



uže sjedi na srednjem vertikalnom okviru stupišta sl. 33 i 34 . U stupištu sl. 35 tog srednjeg okvira nema, nego samo jedan i drugi vanjski nagnuti okvir. Na jednom od ovih sjedi jedno i drugo uže, što može biti prema prilikama, zbog nagiba užeta, vrlo zgodno. Općenito, ove slike predočuju tek tipove, koji se prilagodjuju konkretnim prilikama : nagibu tla i užeta po potrebi .

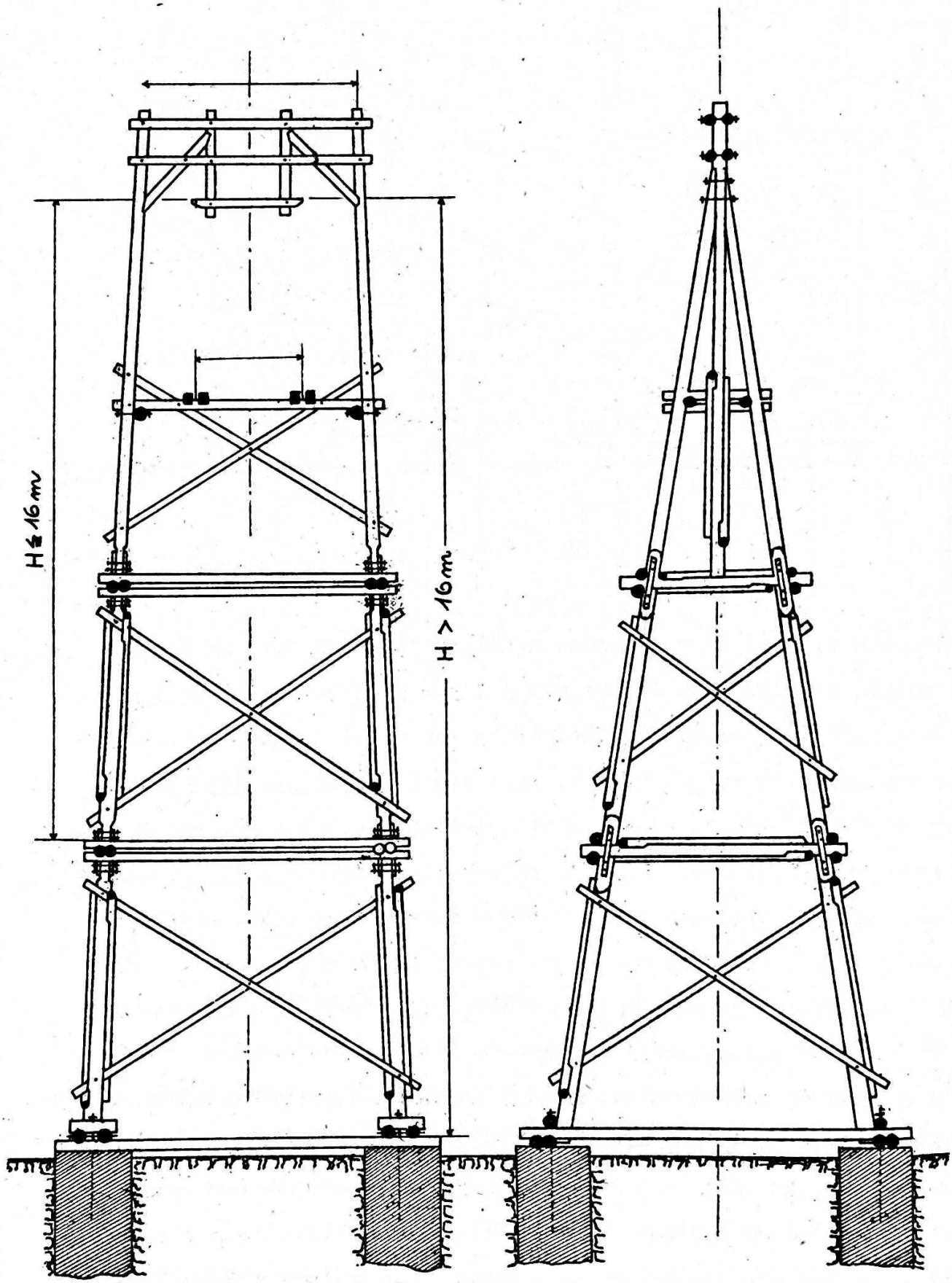
Slika : 35. / Bleichert /



Stupišta viša od 10 m grade se u obliku piramida p.p. na način predočen na slici 36a / sprijeda / i 36b / sa strane /. Stabilitet i čvrstoća svakog stupišta treba ispitati po zakonima gradjevne mehanike. Od vanjskih sila, osim vlastite težine, djeluju na nj : težina jednog i drugog užeta, težina punih kolica, zatim sile, koje nastaju zbog različne napetosti u užetu nosaču lijevo i desno od stupišta, pak trenje zbog pomicanja tog užeta na ležaju; nadalje sile, koje nastaju od pogonskog užeta u pogonu i konačno pritisak vjetra na kolica i samo stupište. Proti vjetru rado se učvršćuju stupišta, naročito visoka, žicama o čvrsto tlo. Potreba na drvenoj gradji za stupište H = 4,5 ~ 18 m visoko iznosi p.p. po Stephan-u $V = 0,55H + 0,4$ m^3, a težina k tome potrebnog željeza za vez p.p. $Ž = 2H + 25$ kg. Stupovi i stupišta grade se takodjer iz betona, pa od željeza, no u šumarstvu rijetko.

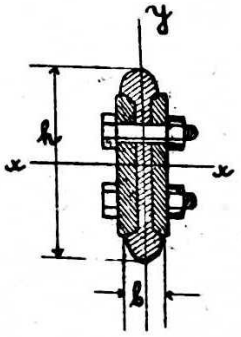
Na stanicama prelaze kolica sa užeta-nosača na masivne tračnice naročitog oblika / ili obrnuto sa tih tračnica prelaze na uže-nosač/.

Slika : 36 a./ / Pohlig / Slika : 36 b./



Upotrebljava se danas u tu svrhu dvoglave tračnice, normalno cca 7 m dugačke, a spajaju se sa plosnatim spojkama na stiku, na način predočen na slici 37. U tablicama 2. i 3. sakupljeni su te iskazani najčešće potrebni podaci o tim tračnicama. Spojke su redovno 30 do 40 cm duge. Točkovi kolica sjede na ovim tračnicama, a kolica sa teretom vise ispod njih. Zbog toga su i ove tračnice ovješene na zgodne grede skeleta stanica s pomoću naročitih vješalica. Od lijevanog željeza izrađenu takovu vješalicu predočuje slika 38. Više od ove upotrebljava se vješalica složena od čvornih limova i kutnog željeza te zakovicama zakovana. Slika 39 predočuje takovu vješalicu, ako se učvršćuje ispod grede, a slika 40, ako se učvršćuje po strani grede skeleta stanice. I ovakove vješalice isporučuju tvornice gotove već prema potrebi velike i teške. Razmak vješalica mjeri 2 do 3 m. Gdjekad se polažu i ove tračnice na zgodne podložne pločice na vrh od-

Slika: 37.



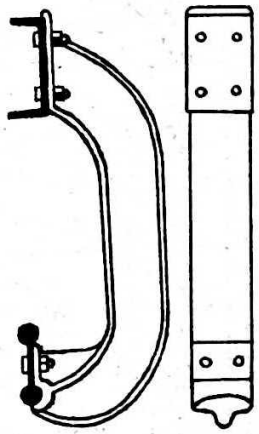
Tablica 2. / Austrijski profili /.

Profil	h	b	F	g	J_x	W_x
	m/m		cm^2	kg/m	cm^4	cm^3
100/25	100	25	10,07	7,9	132	26,4
120/30	120	30	15,59	12,2	278	46,3
160/40	160	40	25,5	20,0	859,2	107,4
200/50	200	50	37,0	29,0	1930	193,0

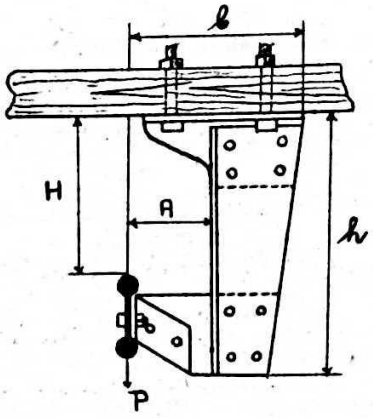
Tablica 3. / Njemački profili /.

Profil	h	b	s	g	g'	W_x	Opaska
	mm			kg	m	cm^3	
120|28|6	120	28	6	11,8	6,0	44	g' težina spojke s debljina struka
120|30|6	120	30	6	13,6		47	
120|32|8	120	32	8	14,0		62	
130|30|7	130	30	7	16,0	6,4	64	
130|32|9	130	32	9	18,0		67	
140|40|6	140	40	6	20,8	9,6	92	
140|42|8	140	42	8	23,0		93	
160|41|7	160	41	7	21,1	11,2	107	
160|42|8	160	42	8	22,7		108	
200|40|7	200	40	7	22,4	22,1	203	

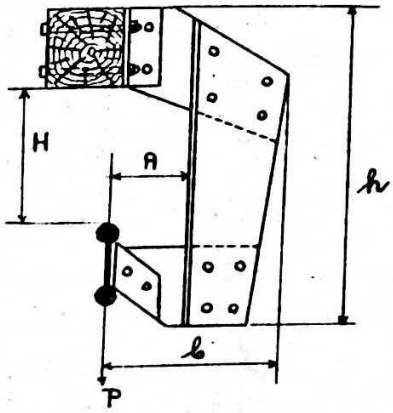
govarajućeg skeleta slično kao obične tračnice šumske pruge na podložne pločice i pragove na zemlji.



Slika: 38.



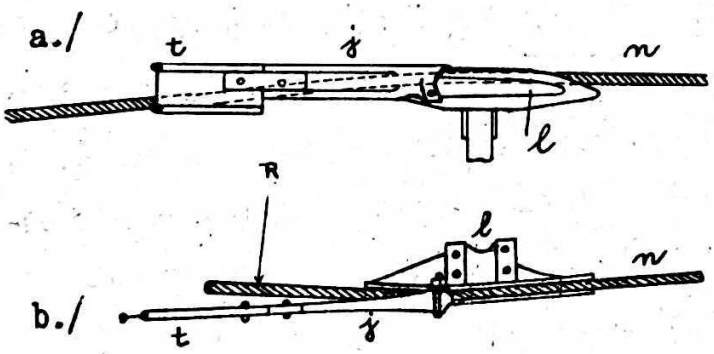
Slika : 39.



Slika: 40.

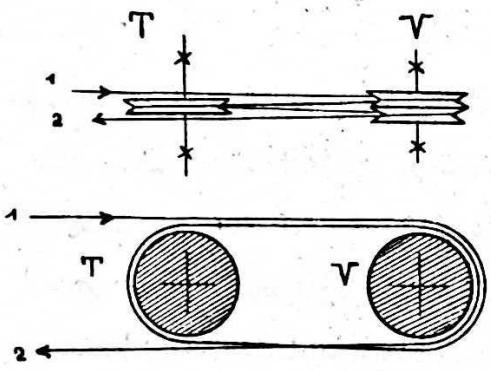
Točkovi kolica prelaze sa tračnica na uže nosač / i obrnuto / s pomoću jezične skretaljke. Slika 41a/ predočuje p.p. tu skretaljku gledanu sa srane, a sl. 41b/ gledanu odozgo. t je još normalna viseća tračnica, a $\jmath$ je na nju priključeni jezik skretaljke, koji s drugim krajem, izradjenim u obliku obimk. , leži na užetu-nosaču n, obimajući ga s gornje strane. Jezik je obično 1 do 1,5 m dugačak. Budući je pak na kraju prilično tanak / da točak lako prijedje na nj / dakle i slab, to se redovno priključuje na uže na čvrstom ležaju prve upore na ulazu u stanicu. Taj je ležaj (ℓ) izradjen u luku blage kružnice, anormalnog je dakle oblika, jer istodobno jedan i drugi uže-nosač sa tog mjesta skreće prema sredini pruge, spuštajući se ujedno prema mjestu učvršćenja dotično do utega. Na taj način uklanja se uže iz linije točila da ne smeta daljnjem odvijanju prometa na tračnicama. Iz istih prometnih razloga tračnice su montirane barem 1,8 do 2,0 m

Slika : 41.



visoko nad podom stanice.

Otvoreno pogonsko uže / sl. 6. / obilazi na gornjoj stanici vitao. Promjer tog vitla po mogućnosti je velik ; najmanje mjeri $D \sim 1000\delta$ / δ promjer usukane žice /, a obično jednak je razmaku jednog i drugog užeta nosača / ~ 2 m /. Gradi se od fasonskog željeza u obliku točka sa šprljcima. Pred vitlom (V) montiran je redovno još jedan točak (T), oko kojega obilazi takodjer uže, da se postigne dovoljno trenje, a spriječi smicanje pogonskog užeta / sl. 42. / .

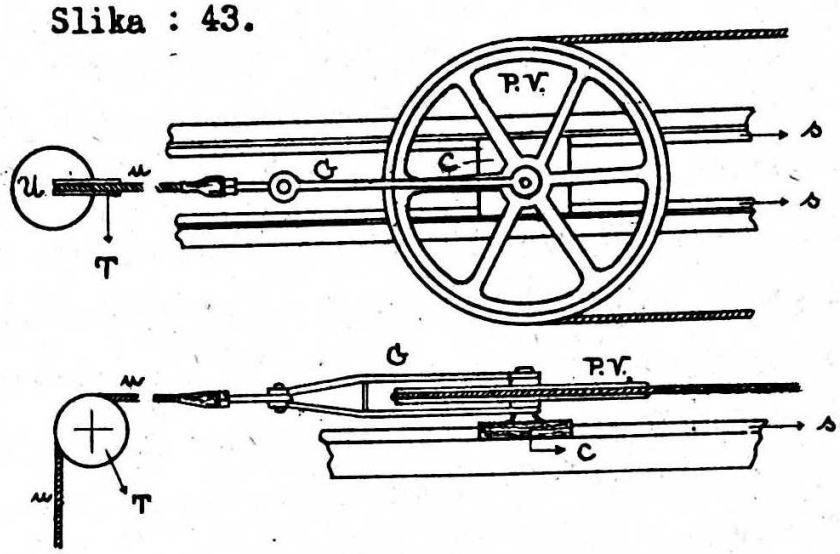


Slika: 42

Jednolično gibanje kolica, sa odredjenom brzinom, postizava se s pomoću kočnice, kao kod pozemnog čekrka. Kod žičara upotrebljava se obično ručna kočnica sa čeličnom vrpcom, koja obilazi neposredno jedan dio površine vitla ili zaseban točak montiran na istoj osovini sa vitlom. Na jednom i drugom kraju užeta ukopčana su puna i prazna kolica na jednostavan način s pomoću karika / isp. na pr. sl.5. /. Otvoreno pogonsko uže napeto je redovno sa peterostrukom sigurnošću / $s = 5$ /.-

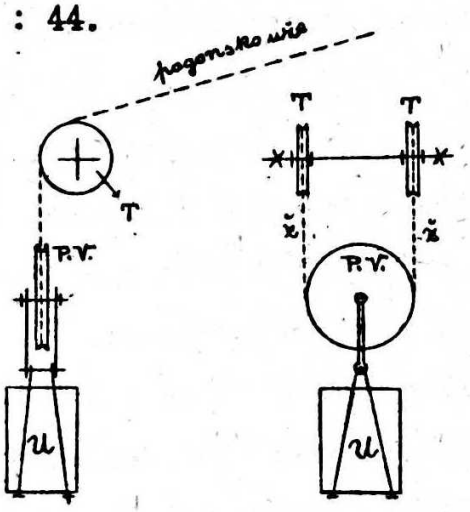
Beskonačno pogonsko uže obilazi osim vitla na gornjoj stanici još jedan točak, t.zv. povratan vitao na donjoj stanici / isp. sl. 13./. U svrhu nesmetanog odvijanja prometa treba vještački napeti tako montirano uže do izvjesne granice. Zbog toga je povratan vitao skopčan sa napravom za razapinjanje pogonskog užeta. Da se pak osigura uvijek ista i posve odredjena napetost, pogonsko uže razapinje se danas takodjer s pomoću utega. Najobičniji uredjaj za razapinjanje užeta predočuje slika 43. Vertikalna osovina povratnog vitla (P.V.) montirana je na horizontalnoj čeličnoj ploči (C), koja klizi u povodu, na šinjama (s). Vilica (G) obuhvata vitao. Na ovu opet je ukopčano uže, sukano od usučaka (u), koje obilazi točak (T) i nosi na kraju ovješeni uteg (U).

Slika : 43.

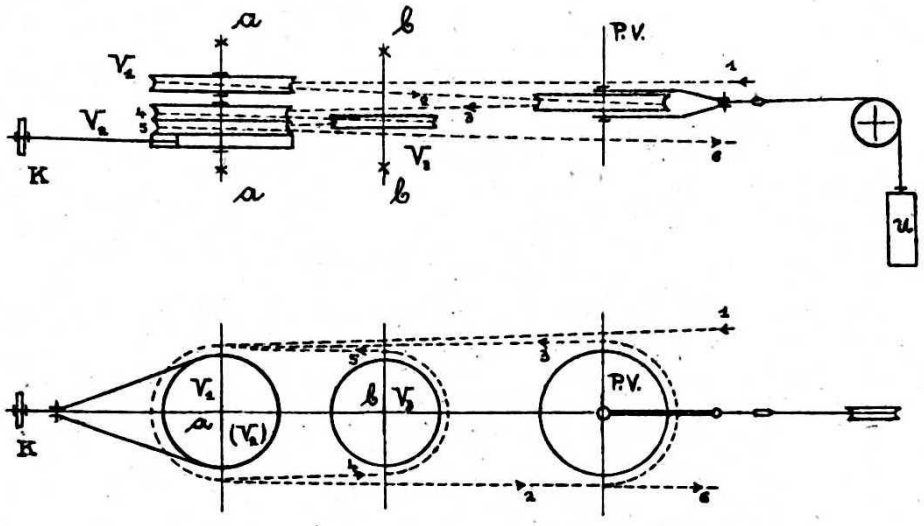


Na drugi način, namjesto po principu sanjka, omogućuje se pokretanje gdjekad i tako, da se povratni vitao montira na mala željezna kolica providjena sa točkovima, koji kotrljaju po običnim tračnicama. Na treći način osigurano djelovanje utega predočuje slika 44. Jedan i drugi komad pogonskog užeta (ž) prelazi preko točkova (T) te obilazi vertikalno ovješeni vitao (P.V.), na kojemu visi uteg (U) slobodno u zraku. Nije li moguće razapeti uže na donjoj stanici, bilo s kojeg razloga, napinje se na gornjoj stanici. Normalan uredjaj u takovom slučaju skiciran je na slici 45. Na snažnoj vertikalnoj osovini (a-a) montirana su dva točka / vitla /. Pogonsko uže ušavši u stanicu obilazi najprije gornji točak (V_1) na toj osovini i vraća se do povratnog vitla (P.V.); obišavši ovaj skreće ponovno, te sad obilazi drugi točak, / vitao V_2 / na istoj osovini (a-a), pa i treći točak V_3 na drugoj čvrstoj osovini (b-b), odakle se konačno vraća na otvorenu prugu obišavši još jednom drugi vitao (V_2). Povratni vitao leži naravno na sanjkami ili na kolcima, te je

Slika : 44.



Slika : 45.



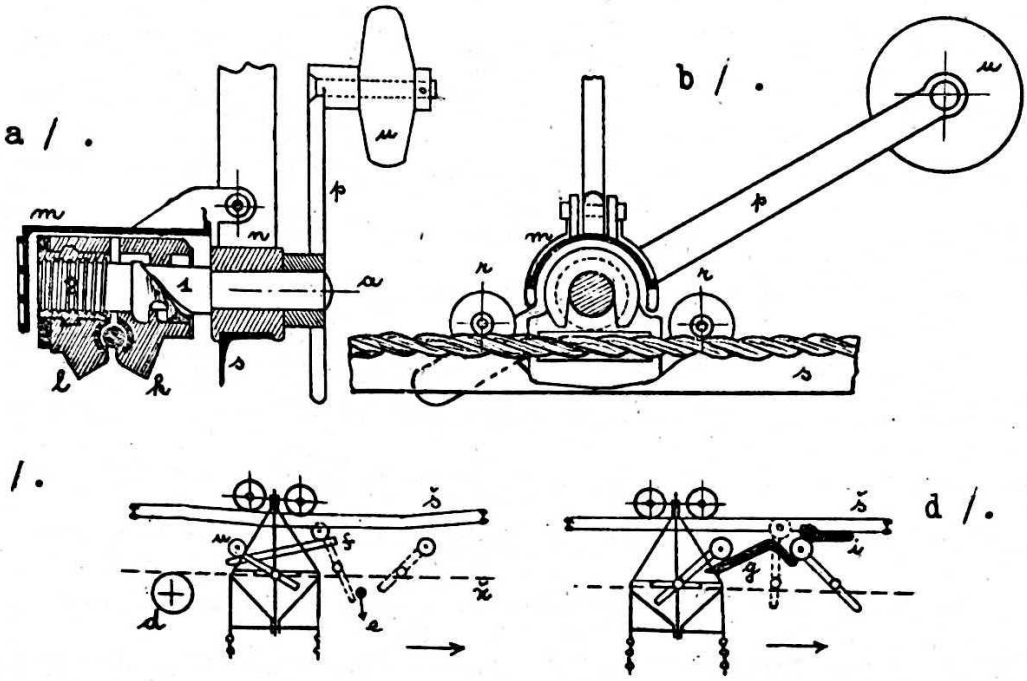
spojen sa ovješenim o nj utegom, na prije opisani način. Drugi vitao (V_2)obavit je još obično i sa čeličnom vrpcom, koju priteže ili otpušta kočničar s pomoću ručnog točka (K) po potrebi. Ovo je dakle kombinacija uredjaja skiciranog na slici 42 i 43 na istoj stanici. Broj i način omotaja oko drugog i trećeg vitla (V_2 i V_3) udešen je uvijek tako, da je svako smicanje užeta isključeno, t.j. da kočnica sigurno radi. Na donjoj stanici potreban je takodjer povratan vitao, u ovom slučaju redovno većeg polumjera /$D \sim 4$ m. /, no sa osovinom u nepomičnim ležajima. Dužina povoda, šinja ili tračnica ispod pomičnog povratrog vitla odmjerena je tako, da se uže može nesmetano istezati u svim prilikama. Redovno se uzima, da iznosi put povratnog vitla 2 do 3 metra na točilu 1 kilometar dugačkom uslijed istezanja užeta; za svaki daljnji kilometar, dužeg točila, dodaje se ovom iznosu još po 1 metar. Težina utega beskonačnog pogonskog užeta odredjuje se redovno tako, da je uže napeto sa šesterostrukom sigurnošću /$\sigma = 6$; bez obzira na naprezanje pregibanja /.

Beskonačno pogonsko uže giba se uvijek u istom smjeru : po jednoj strani uz puno uže-nosač od gornje stanice prema donjoj, po drugoj strani uz prazno uže-nosač, u suprotnom smjeru. Na punom / jačem / užetu-nosaču gibaju se natovarena kolica, a na praznom / slabijem / užetu-nosaču, prazna. Na ovaj način mogu da putuju po više punih kolica na jednoj strani i po više praznih na drugoj strani. Kolica treba tek na zgodnom mjestu, na zgodan način i u izvjesnom razmaku

ukopčati na pogonsko uže. U tu svrhu služe hvataljke, naročito konstruirane, s kojima se zakvače kolica o pogonsko uže, kad treba. Prvotne hvataljke bile su jednostavne naprave, providjene obično sa vijkom, montirane na skeletu kolica. U hvataljku, izradjenu poput štipaljke, stavio bi radnik pogonsko uže, te rukom pritegnuo vijak toliko, koliko mu se činilo, da je za siguran promet dovoljno. Na strmim potezima, a uz veliki teret, ovaj način učvršćenja pogonskog užeta o kolica nije zadovoljavao i to s tim manje, što je zavisio o prosudjivanju i manuelnom radu radnika. Zbog toga se danas upotrebljavaju gotovo isključivo automatske hvataljke, t.j. hvataljke udešene tako, da se puna kolica, kad ih radnik rukom dotura do izvjesnog mjesta gornje stanice, sama od sebe učvrste o pogonsko uže, dotično, kad stignu do sličnog mjesta na donju stanicu, odriješe od pogonskog užeta opet sama od sebe. Naravno, analogno dogadja se sa praznim kolicima : na donjoj stanici automatski se učvrste o pogonsko uže, a na gornjoj stanici automatski se odriješe od pogonskog užeta. Broj konstrukcija automatskih hvataljki - redovno patentom zaštićenih - vrlo je velik. One su i bitna oznaka modernih žičara, a mogu se razvrstati u dvije glavne grupe : jedne priteže vijak, a druge težina ovješenih kolica. Jedne i druge baziraju na trenju, koje se vještački proizvodi medju hvataljkom i pogonskim užetom s pomoću naprava sličnih štipaljkama ili kliještima. Kod izradjivanja i dotjerivanja hvataljka prve grupe ističu se : Obach, Otto, Werner, Carsten, Fabijan, Pohlig itd., a druge grupe : Spitzeck, Bleichert, Ceretti Tanfani, Mackensen i drugi. Iznijet ćemo ovdje tek po jednu tipičnu hvataljku iz jedne i druge grupe, koje se često susreću u praksi.

Slika 46 predočuje hvataljku, koju je pronašao Werner, a poslije uz druge konačno dotjerao Pohlig. Osovina a je vijak providjen sa dvije vijčanice. Prva (1) je desnog i vrlo velikog hoda, druga (2) je lijevog i prema prvoj vrlo malog hoda. Ta se osovina okreće u ležaju (n), koji je montiran na skelet od kolica (s). Sa tom osovinom kruto je povezana poluga (p) i masivan točak (u), koji

Slika : 46.

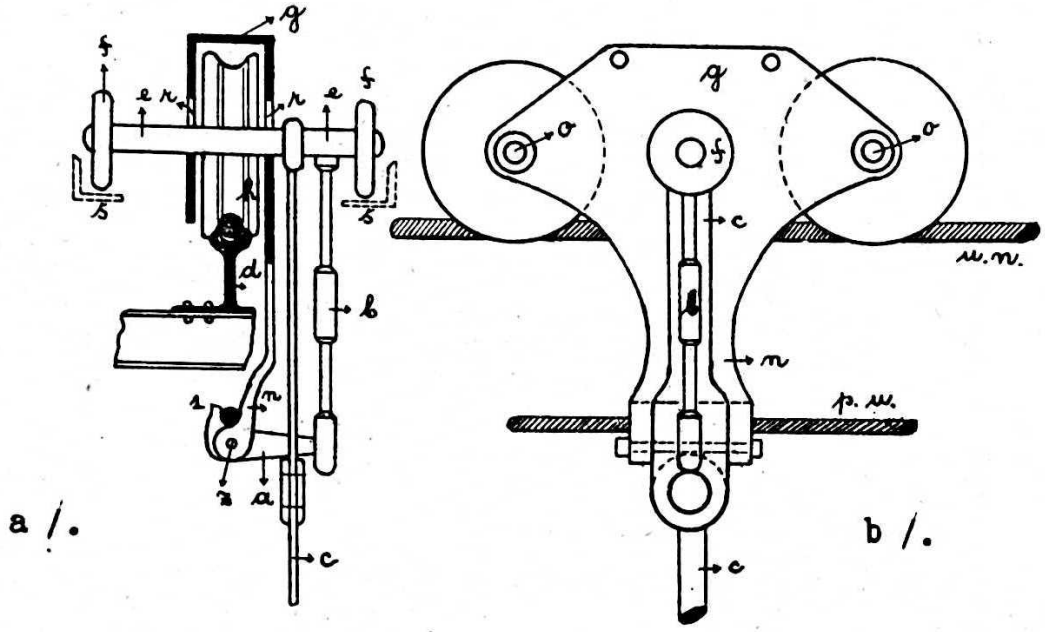


djeluje ujedno i kao uteg, a nalaze se na njoj i obje čeljusti stezaljke, jedna (*k*) povrh prve vijčanice (*1*), a druga (*l*) povrh druge vijčanice (2) poput matice na vijku. Stezaljka je zaštićena i obavita sa oklopom (*m*). Medju čeljustima stezaljke leži pogonsko uže. Zbog toga su čeljusti obložene na tom mjestu sa brončanim uloščima, koji se lako izmjene, kad se istroše. Okreće li se poluga (*p*) zajedno sa točkom na kraju (*u*), prva čeljust stezaljke (*k*) brzo se primakne do pogonskog užeta, zbog prve vijčanice, koja čini u svemu samo polovicu, no visokog hoda (*1*). Naprava je udešena tako, da prva vijčanica prestaje, a prva čeljust (*k*) da stane na mjestu, čim je dotakla pogonsko uže. Okreće li se pak poluga (*p*) i s njom spojeni točak (*u*) još dalje, druga čeljust (*l*), putujući zbog djelovanja druge vijčanice sitnog hoda, primiće se pogonskom užetu polako i pritiskuje ga s druge strane to snažnije, što se poluga više zakreće. Kolica se automatski ukopčaju na pogonsko uže na zgodno odabranom mjestu stanice, na način, skiciran na slici 46c/; š je viseća, nješto spuštena tračnica / koja zamjenjuje uže-nosač na stanici/; ž je pogonsko uže; *d* je provodni točak, koji primakne pogonsko uže u posve tačno odredjenu udaljenost ispod tračnice; *f* je koso montirana šinja; *e* je željezna zapreka. Radnik rukom dogura kolica do tog mjesta. Iza točka (*d*) stezaljka legne sa svoja dva postrana valjčića

/ r , sl. 46b / na pogonsko uže, a ovo udje polako i sigurno medju otvorene čeljusti stezaljke. Na daljnjem putu uspinje se točak (u) po kosoj tračnici ($\S$), pa s polugom okreće osovinu stezaljke (a). Kad je došao na kraj kose tračnice (f), poluga stoji gotovo okomito i s donjim krajem udari o željeznu zapreku (e) zbog česa se još dalje zakrene na suprotnu stranu prema prvom svom položaju. U to su se vrijeme čeljusti stezaljke zatvorile, a posljednji udarac o zapreku (e), pojačan utežnim djelovanjem masivnog točka (u), uklješti pogonsko uže potpuno.- Automatsko iskapčanje kolica, na drugoj stanici, skicirano je na slici 46d/; g je gotovo pod pravim kutem prelomljena šinja sa dužim uzlazećim i kraćim silazećim krakom ; i je željezni povod montiran ispod viseće tračnice ($\check{s}$) . Masivan točak (u), dok kolica prolaze ispod savinute šinje (g), uspinje se po prvom njezinom kraku i dolazi sa polugom u vertikalan položaj, kad prispije na njezin vrh. Na daljnjem putu zapreka (i) sili taj točak da silazi i niz drugi krak savinute šinje. Na taj su se način razmaknule čeljusti stezaljke potpuno, a pogonsko uže je ispalo.- Naravna stvar, ovakovo je funkcioniranje moguće jedino uz vrlo točnu montažu svih sastavnih dijelova, koji ne smiju mijenjati medjusoban relativan položaj ni poslije, pod prometom. Zbog toga je redovno ukopčalište i iskopčalište montirano na krutom i solidnom željeznom skeletu, nezavisnom o drvenoj, dakle sa vremenom promjenljivoj konstrukciji ostalog dijela stanice.

Slika 47 shematski predočuje princip automatske hvataljke, koju je je pronašao Streitzig a poslije dotjerao Bleichert. Na osovinama (o) montirani su glavni točkovi kolica (h), a na osovini (e) mali točkovi (f) , šipka (c), na kojoj vise kolica, i još jedna motka (b), u koju je usadjena poluga a , na kraju koje se nalazi jedna čeljust stezaljke (1) . Druga čeljust stezaljke čini produženi dio (n) oklopa (g) , koji obuhvata cijelu hvataljku. Hupe (k) u oklopu (g) dugoljastog su oblika tako, da se osovina (e) može dizati i spuštati u njima. Kad se osovina (e) primiče donjim stijenama rupa (k) , kao što je naortano na slici 47a/, motka (b) zakreće polugu (a) oko zgloba (z) tako,

Slika : 47.

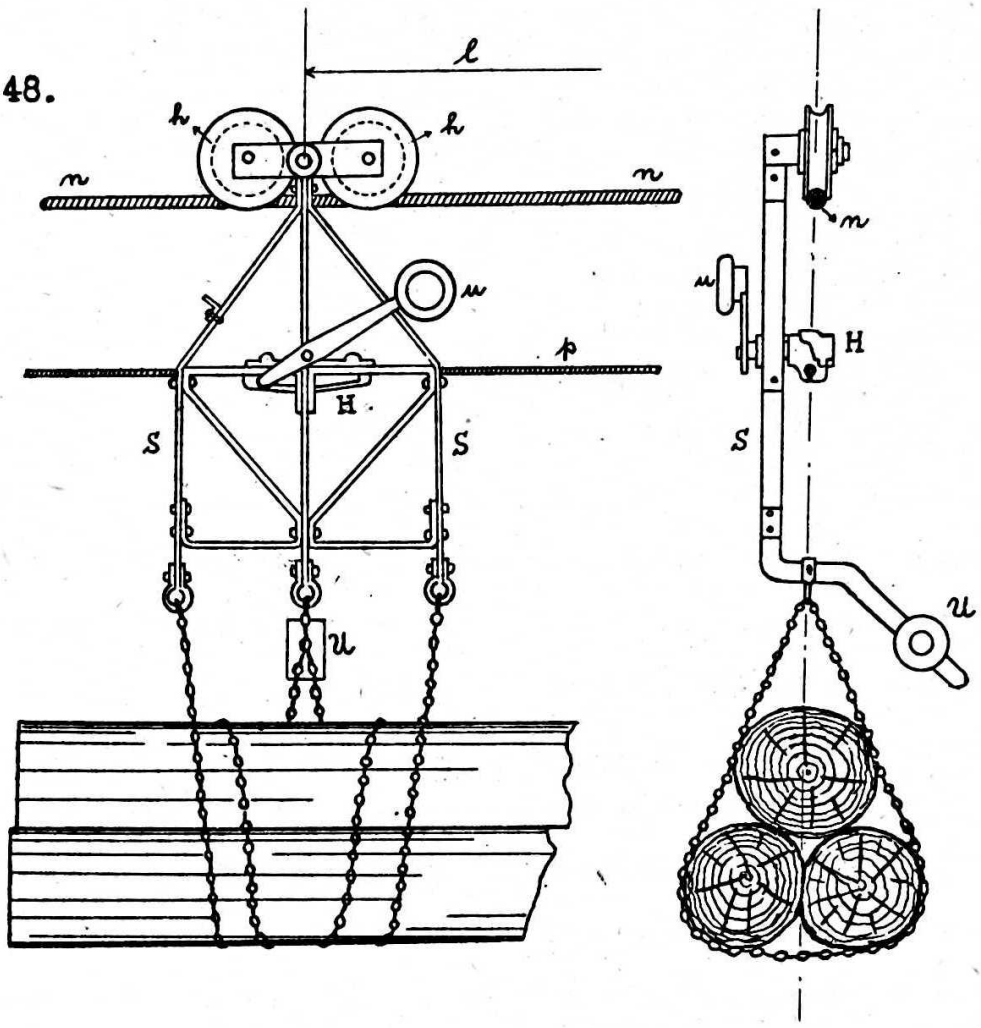


a /. b /.

da se stezaljka zatvara i sve više steže pogonsko uže (p.u). Kad se pak osovina (e) diže i primiče gornjim stijenama rupa (r) motka (b) diže polugu (a) i zakreće tako, da se stezaljka otvara, a oslobodjeno pogonsko uže ispada. Na ulazu u stanicu, na iskapčalištu, uspinju se mali točkovi (f) po podmetnutim šinjama (š), te podignu kolica zajedno sa motkom (b) tako, da se stezaljka otvori, a zgodno vodjeno pogonsko uže ispane. Na ukopčalištu postupak je obrnut : mali točkovi silaze niz podmetnute šinje (š), a stezaljka se zatvara i konačno zatvori posvema. Udaljenost pogonskog užeta (p.u) ispod užetanosača (u.n) udešena je naravno prema tome s pomoću zgodnih naprava. Stezaljka se zatvara zbog spuštanja osovine (e) u oklopu. Ova se pak spušta zbog težine o nju ovješenih kolica. Motka (b) steže stezaljku to jače, što je veća težina ovješenih kolica i što je poluga (a) duža. Dužina posljednje može se zbog toga regulirati. Ova hvataljka hvata dakle pogonsko uže sa silom, koja je proporcionalna težini ovješenog tereta. Nije uvijek istom silom pritegnuta kao ona prijašnja i zbog toga više štedi uže. No jedna i druga hvataljka, svrsi shodno udešena potrebama konkretnog prometa, u glavnom jednako je dobra.

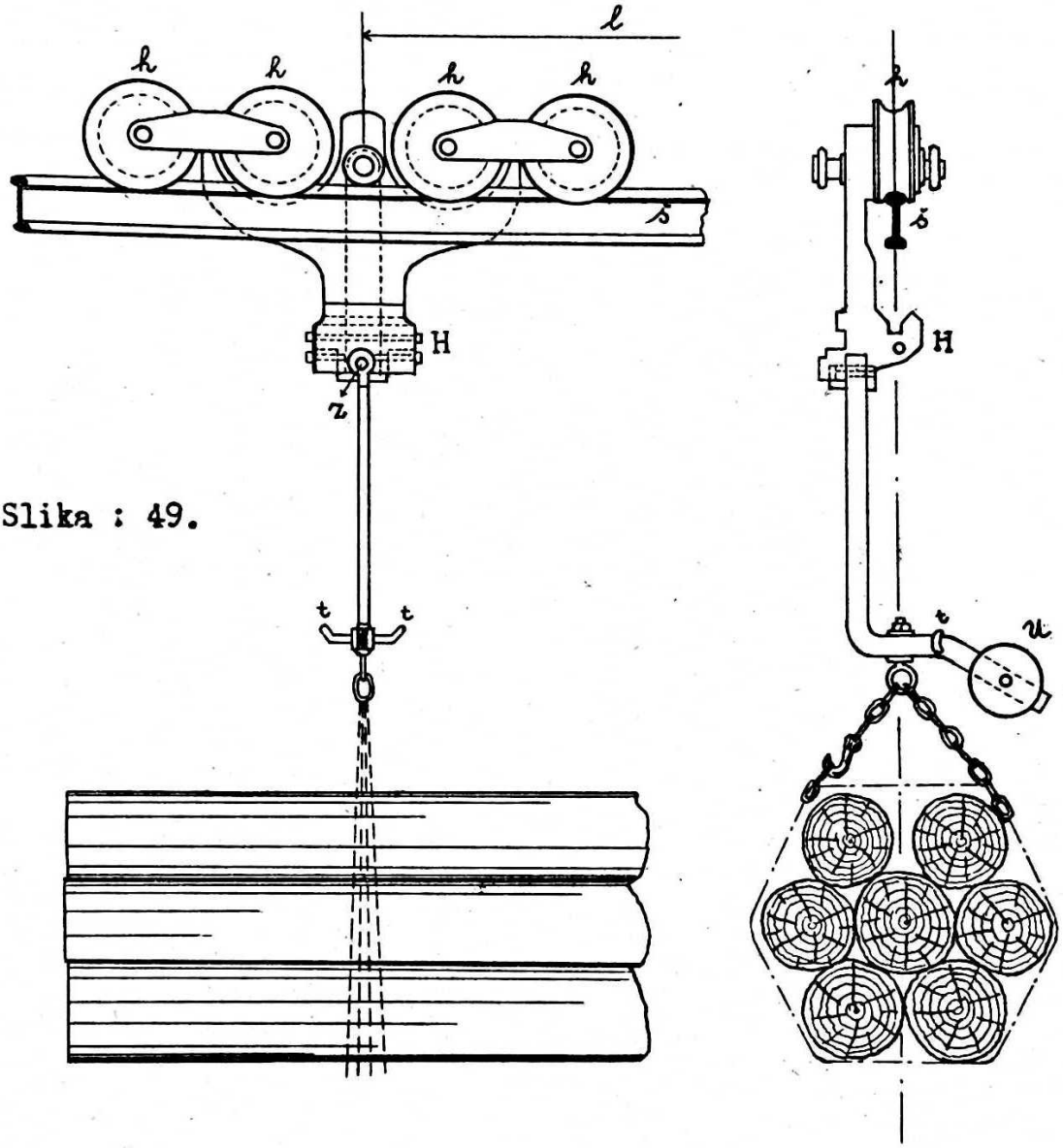
Kolica, kakova se danas upotrebljavaju u šumske svrhe, sa malo prije opisanom Pohligovom hvataljkom, skicirana su na slici 48. Kolica sjede sa dva glavna ili hodna točka (*h*) na užetu nosaču (*n*) na otvorenoj pruzi. Na željeznom skeletu kolica (*S*) montirana je hvataljka (*H*) koja steže pogonsko uže (*p*). Uteg (*U*) ima zadaću izbalansirati skelet tako, da težina njegova djeluje u vertikali, koja prolazi užetom nosača.

Slika : 48.



Dvoja kolica u primjerenom razmaku (*l*), čine jedan voz, na kome se otpremaju trupci povezani i ovješeni s pomoću lanaca. Za otpremu cjepanica dostaju samo po jedna kolica. Kod otpreme većeg tereta, da se ovo prenese na što veću dužinu užeta-nosača, upotrebljavaju se kolica sa četiri hodna točka. Na slici 49 predočena su takova kolica / polovica voza / sa Bleichertovom hvataljkom (H). Kolica sjede na visećim šinjama (š) na stanici. Na trnak (t) ovjese se lanci, kad se prazna kolica vračaju na gornju stanicu. Skelet svakih koli-

ca ukopčan je redovno samo sa jednim zglobom (z) na skelet hodnih točkova, jer je za siguran promet potrebno, da ovješen teret lebdi slobodno u zraku. Točkovi kolica, redovno 25 cm promjera, izradjeni su od žilavog u tignju taljenog čelika. Budući naime kotrljaju



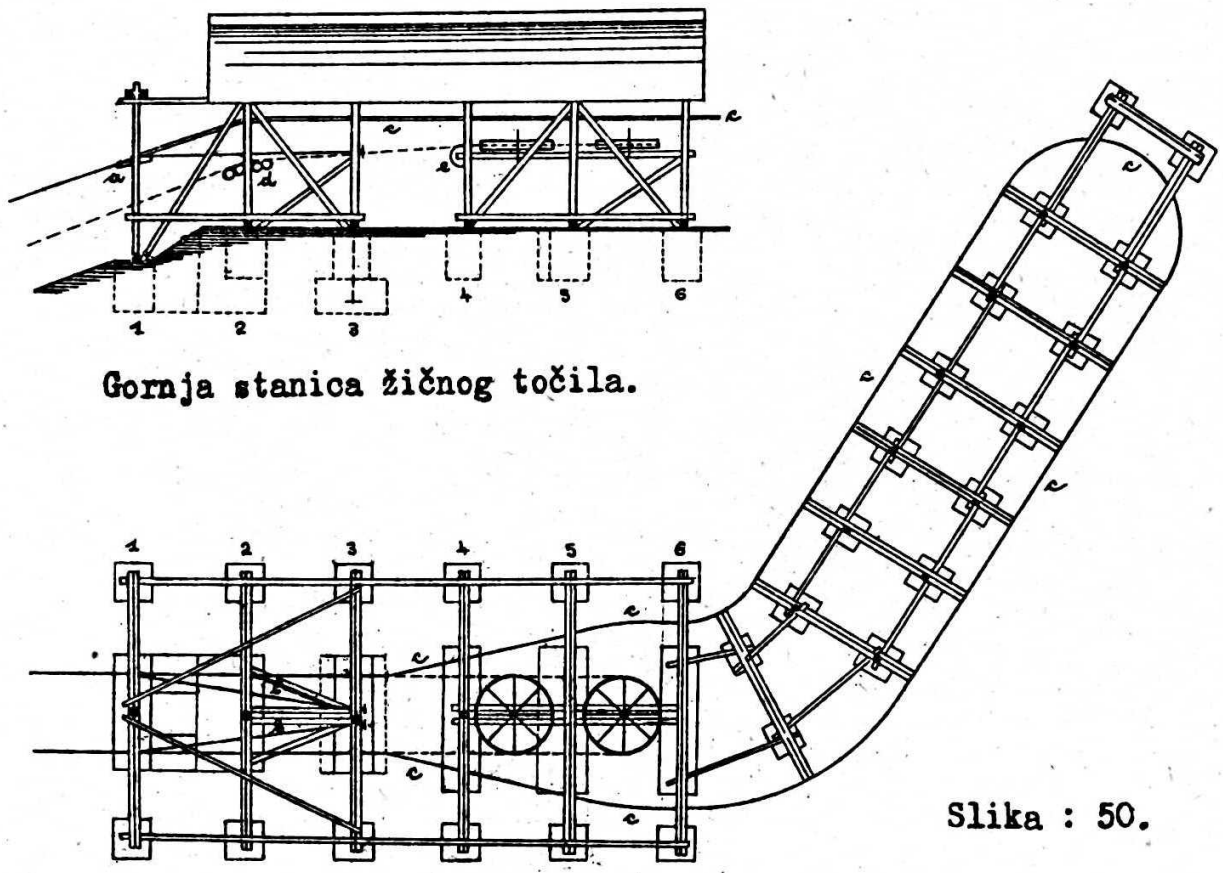
Slika : 49.

neprestano po željezu, izvrženi su snažnom habanju. Kod šumskih žičara redovno leži pogonsko uže i hvataljka ispod užeta nosača. No općenito može se pogonsko uže i hvataljka montirati u istoj visini sa užetom nosačem kao i povrh njega, ako konkretne prilike to traže.

Uredjaj stanica vrlo zavisi o prilikama gradilišta, pa o specijalnim potrebama točila u konkretnom slučaju tako, da gotovo nema ni dvije posve jednako izgradjene stanice. U glavnom uredjene su tako, da je manipulacija po mogućnosti jednostavna; da je put od ulaza

točila do stovarišta što kraći, da se rukom pokreću kolica što manje; da se kolica tovare jednostavno, po principu odozgo prema dolje, a rukom neposredno tek u najnužnijoj mjeri; broj zaposlenih radnika da je što manji.

Na najobičnije potrebe ograničeni uredjaj gornje stanice žičnog točila, sa dva užeta nosača, sa beskonačnim pogonskim užetom, predočen je na slici 50. Natkriveni ulazni dio stanice sastoji od 6 glavnih



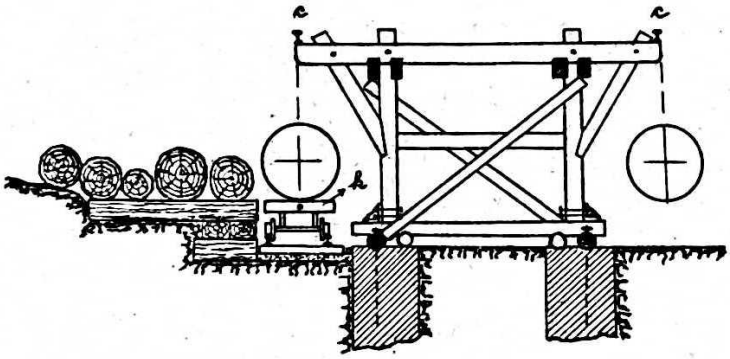
Gornja stanica žičnog točila.

Slika : 50.

veza. Na prvom vezu montirani ležaji (a) skreću puno i prazno uže prema sredini stanice, do mjesta usidrenja na trećem vezu. Jedan i drugi uže-nosač nepomično je naime učvršćen u ovom slučaju neposredno o drveni skelet trećeg veza, a tek posredno preko snažnih upora (b) o čvrsti betonski temelj veza (2 i 1) . Viseće šinje (a) priključuju se na jedan i drugi uže-nosač takodjer nad ležajima (a) prvog veza, te obilaze cijelu stanicu i to od prvog do iza trećeg veza u normalnom razmaku jednog i drugog užeta-nosača / 2,20 m /, a od veza 6 dalje u većem razmaku / 5,0 m /. Pogonsko uže, dolazeći

sa otvorene pruge, sjeda na bateriju točkova (d), koja ga skreće i zajedno sa točkom (e) drži u tačno odredjenoj visini ispod visećih šinja, jer na tom potezu, lijevo i desno od veza (3), automatski se iskopčavaju puna, a iskopčavaju prazna kolica na pogonsko uže. Pogonsko uže obilazi dva na skeli čvrsto montirana vitla, od kojih je jedan providjen sa kočnicom. Na ovu stanicu u užem smislu riječi priključuje se utovarna rampa, u obliku repa više manje, na jednu ili drugu stranu otklonjenog od glavne osovine točila, već prema konfiguraciji tla i položaju transportnog sretstva, na koje se točilo priključuje. Poprečan prosjek kroz tu rampu predočuje u većem mjerilu slika 51. Rampu obilazi redovno uskotračna pruga, a roba se tovari na prazna kolica točila s pomoću naročito udešenih vagoneta. Gornji dio vagoneta (k) može se naime s pomoću vijka nješto dizati i spuštati a i zakretati / nagibati / oko uzdužne svoje osovine. Trupci se valjanjem natovare na vagonet, koji stoji upravo pod praznim kolicima točila, ovješenima o šinje (c). Lanci se omotaju oko trupaca, dobro stegnu i učvrste. Po tom se gornji dio vagoneta spusti, s pomoću vijka, a trupci ostanu visjeti na kolicima točila, koja se rukom odguraju do ukapčališta. Kad se pak roba istovaruje na donjoj stanici, pod puna kolica podmetne se vagonet, gornji njegov dio sa vijkom diže i podigne dok tovar ne sjedne na vagonet, a lanci splasnu. Nakon odriješenja lanaca, zakrene se gornji dio vagoneta oko uzdužne osovine, a trupci otkotrljaju na stovarište. Dužina utovarne , redovno nenatkrite rampe zavisi naravno o kapaciteti točila i intenzivnosti transporta.

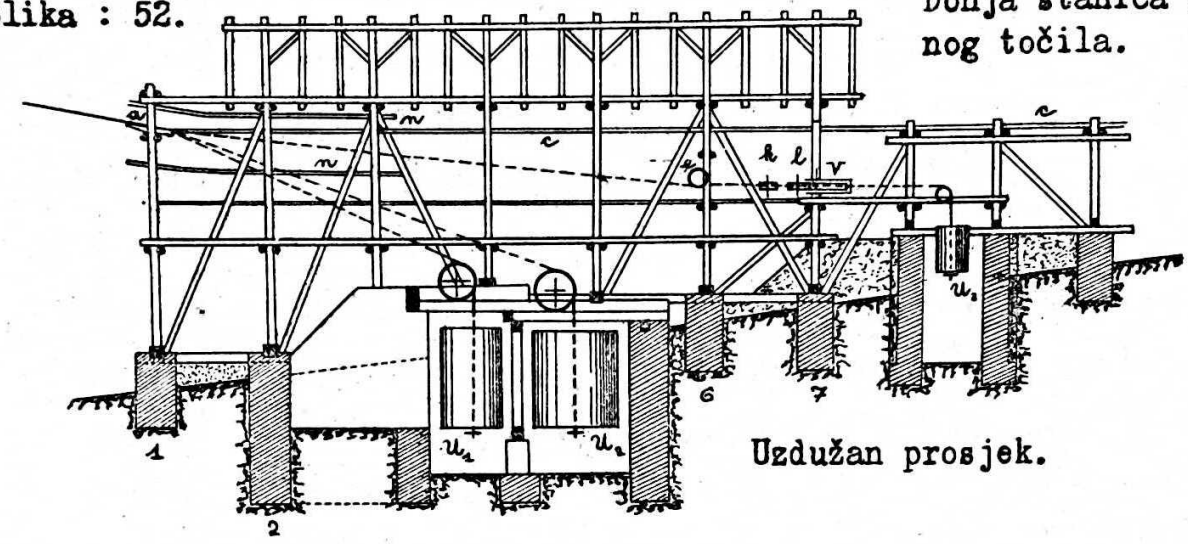
Slika : 51.



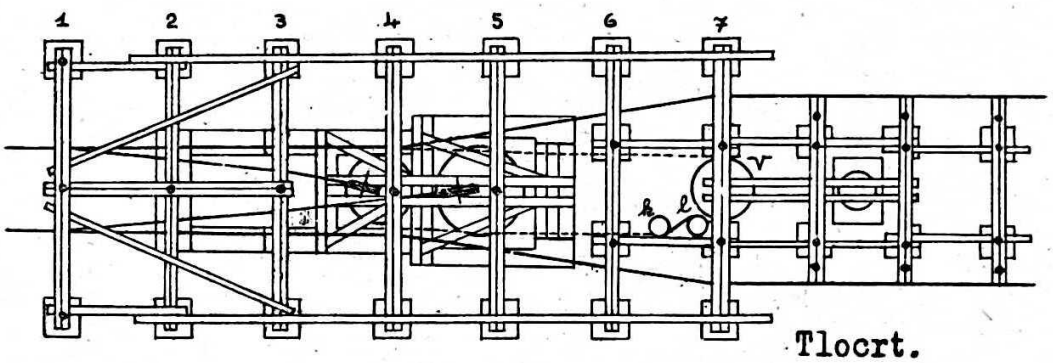
Donju stanicu ovakovog točila predočuje slika 52. Stanicu u užem smislu riječi čine prvih sedam natkritih glavnih veza. Drugi glav-

ni vez u većem mjerilu predočen je na slici 53. Od ležaja (*a*) na prvom vezu skreću puno i prazno uže-nosač prema sredini stanice i spuštaju se do utega (U_2 i U_4), koji ih razapinju. Pogonsko uže sprovode

Slika : 52. Donja stanica žičnog točila.

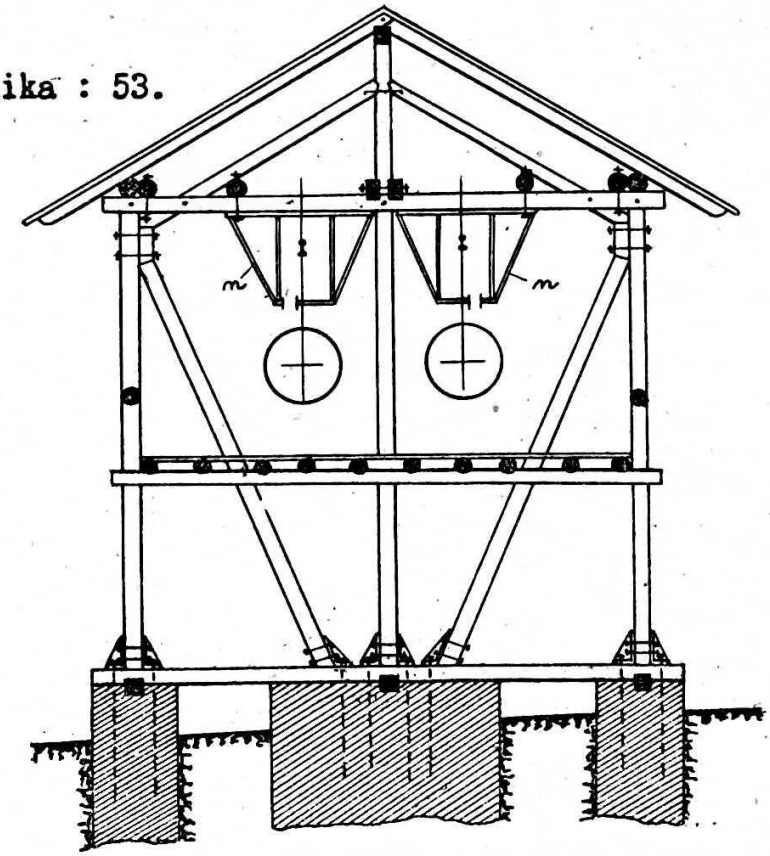


Uzdužan prosjek.



Tlocrt.

Slika : 53.



točkovi (*e, k, l*) do pomičnog povratnog vitla (*V*), a razapinje ga uteg (U_3). Viseće šinje (*c*) priključuju se na jedan i drugi uže-nosač na ležajima (*a*) prvog veza, te se razmiču od normalnog razmaka / 2,20 m /, od četvrtog do sedmog glavnog veza, na veći razmak

/ od 5,0 m /, kojim obilaze istovarnu rampu. Ukapčalište, dotično iskapčalište nalazi se izmedju prvog i trećeg glavnog veza. U tu svrhu montirane su na tim vezovima naročite naprave (m), koje podržavaju pogonsko uže u odredjenom razmaku ispod visećih šinja, te osiguravaju funkcionisanje Pohligovih hvataljki. Istovarna rampa, od koje je nacrtan samo početak, jednakog je oblika sa utovarnom rampom na gornjoj stanici. Njezin smjer i dužina ravna se naravno prema terenskim prilikama, intenziteti transporta te položaja drugog transportnog sretstva / redovno želježnička pruga /, na koje se priključuje točilo.-

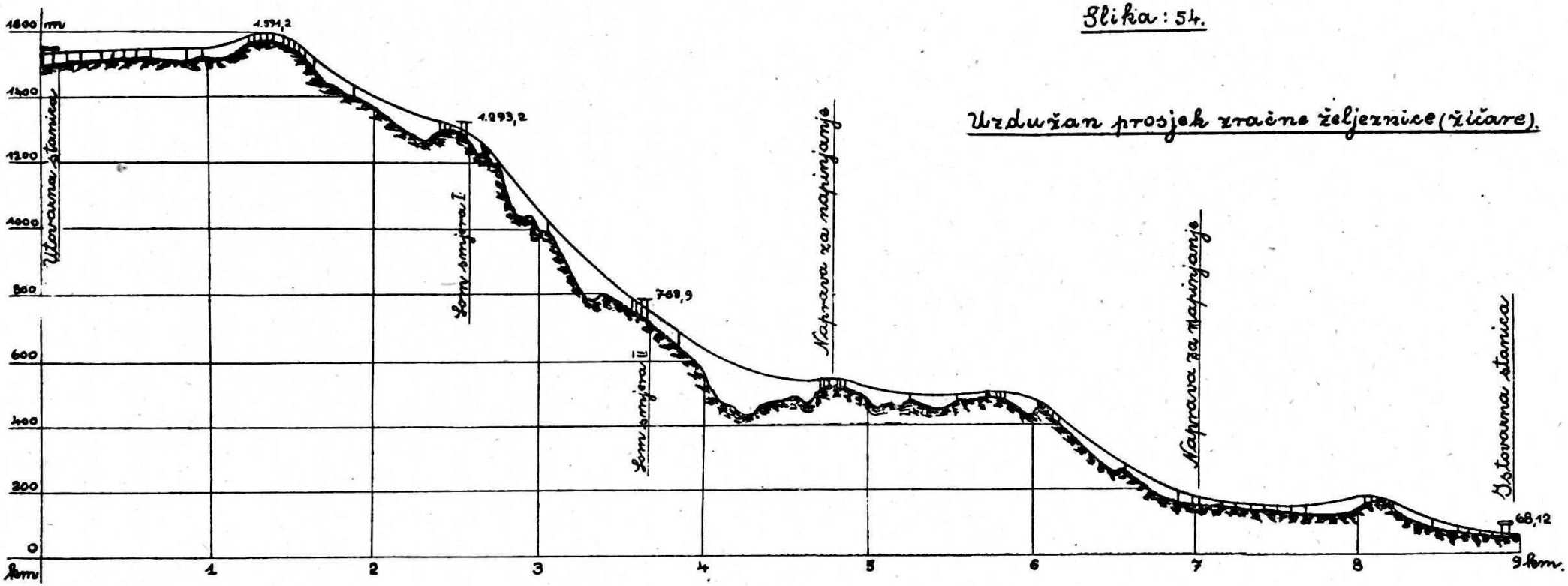
4. Zračna željeznica. U šumske svrhe izvodi se redovno sa dva užeta-nosača / puno i prazno uže /, te sa beskonačnim pogonskim užetom / Bleichertov ili njemački sistem /. Točilo od žičnog užeta, koje se gradi na isti način, karakteriše pogon / gravitacija /, udešen slično kao kod pozemnog čekrka, pa ograničena maksimalna dužina / cca 2 km /. Za pogon zračne žičare iskorišćuje se gravitacija po mogućnosti takodjer, običnije ali pogoni ju kalorički ili električki stroj / motor /. Dužina zračne željeznice općenito naime nije ograničena. Dosiže i presiže dužine običnih šumskih željeznica. Tvrtka Kaiser i drug izvela je na pr. u Karpatima u Sedmogradskoj 1915 g. 24,7 km. dugu šumsku zračnu željeznicu. Uz takve prilike zračna željeznica prelazi brda i doline, čas se uspinje, čas pada, visinske razlike redovno dakle nijesu tako povoljne, da bi za pogon dostajala samo gravitacija. Zbog trenja nerijetko je potrebna za pokretanje praznih kolica u jednom smjeru vještačka snaga kud i kamo veća od gravitacije, koja potpomaže pokretati puna kolica u drugom smjeru tako, da zračnu željeznicu pogoni motor često i onda, kad se njezina linija u glavnom spušta u smjeru transporta, pogotovo, pak onda, kad je horizontalna ili se u glavnom diže. Idealna linija zračne željeznice takodjer je pravac, nepromjenjenog smjera u situaciji. Uistinu ali mijenja smjer i to s tim češće, što je žičara duža, a terenske prilike nepovoljnije. Spome-

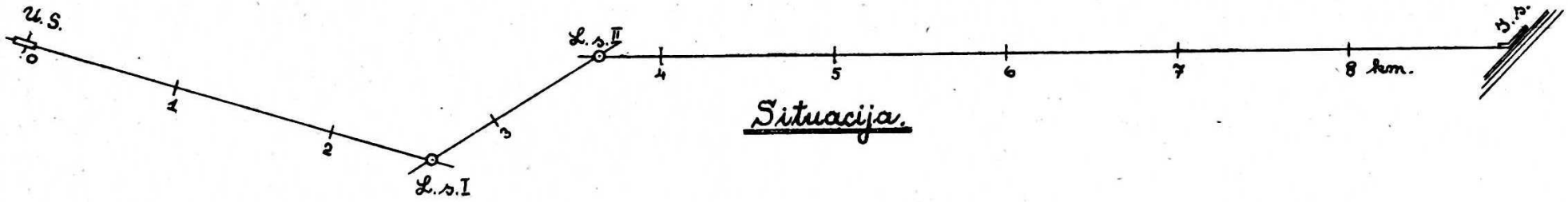
nuta žičara u Karpatima mijenja na pr. osam puta svoj smjer. U situaciji pokazuje dakle poligon sa osam vrhova. Uže-nosač modernih žičara počiva takodjer na željeznim ležajima, na stupovima, a napeto je s pomoću utega. Djelovanje tog utega ali slabi od ležaja do ležaja - zbog trenja - i to s tim većma, što je broj ležaja veći. Na dugačkoj zračnoj žičari bit će dakle potrebno obnoviti napinjanje užeta-nosača na više mjesta i to u razmacima, primjerenima djelovanju utega. Kao u situaciji tako i u uzdužnom profilu linija žičare uopće ne podnosi naglu mijenu smjera. Kut pregibanja užeta na ležaju ograničen je uskim granicama. Ako dakle žičara prelazi terenski hrbat, zbog nagle promjene smjera bit će potrebno poduzeti izvjesne mjere, da se te granice ne prekorače. Već kod zračnih željeznica osrednjih dužina, kakova je na pr. ona, predočena na slici 54, bit će potrebno podizati uredjaje i naprave, u malo prije rečene svrhe. Ti uredjaji - a to su : uredjaj za napinjanje i usidrenje užeta-nosača na otvorenoj pruzi; naprava na lomu smjera / linije u situaciji / i uredjaj na prelazu terenskog hrpta - karakterišu takodjer zračnu željeznicu i zbog toga opisujemo ih najprije.

Koeficijenat trenja izmedju užeta-nosača i željeznog ležaja računa se sa $\mu = 0{,}10$ u slučaju, kad se jedno i drugo nalazi u besprikornom stanju t.j. kad je jedno i drugo očišćeno, te valjano nauljeno. Samo trenje na ležaju zavisi naravno još i o pritisku užeta na ležaj / o uporišnoj reakciji /. Što je uže duže, broj ležaja veći, a trenje na njima snažnije, to je manje djelovanje utega na drugom kraju užeta. Budući se pak ide za tim, da bude to djelovanje,ili, što je isto, napetost u užetu što jednoličnija, razdijeli se linija žičare u odsjeke, redovno 1,8 do 2,5 km dugačke, te učvršćuje uže-nosač na jednom kraju, a razapinje s utegom na drugom kraju, u svakom odsjeku zasebno. Na medji odsjeka podignuta je naprava, ne samo u tu svrhu, nego i u cilju, da ne trpi kontinuitet prometa - zbog prekidanja užeta nosača - ni u kojem pogledu . Skicu takove naprave, izgradjene od drva, predočuje slika 55.

Slika: 54.

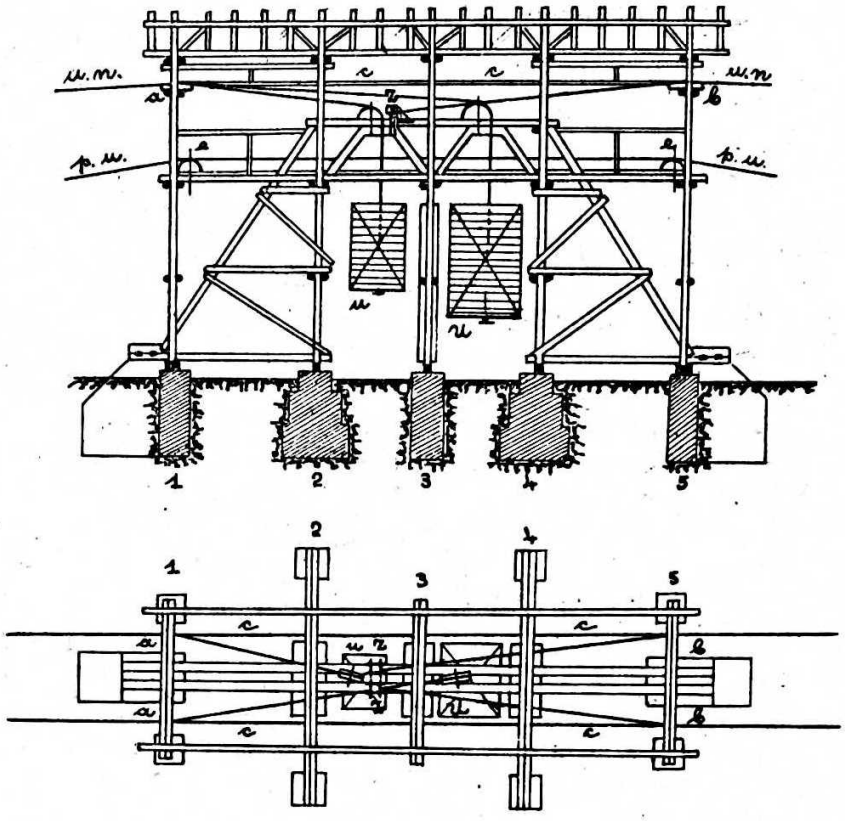
Uzdužan prosjek zračne željeznice (žičare).





Situacija.

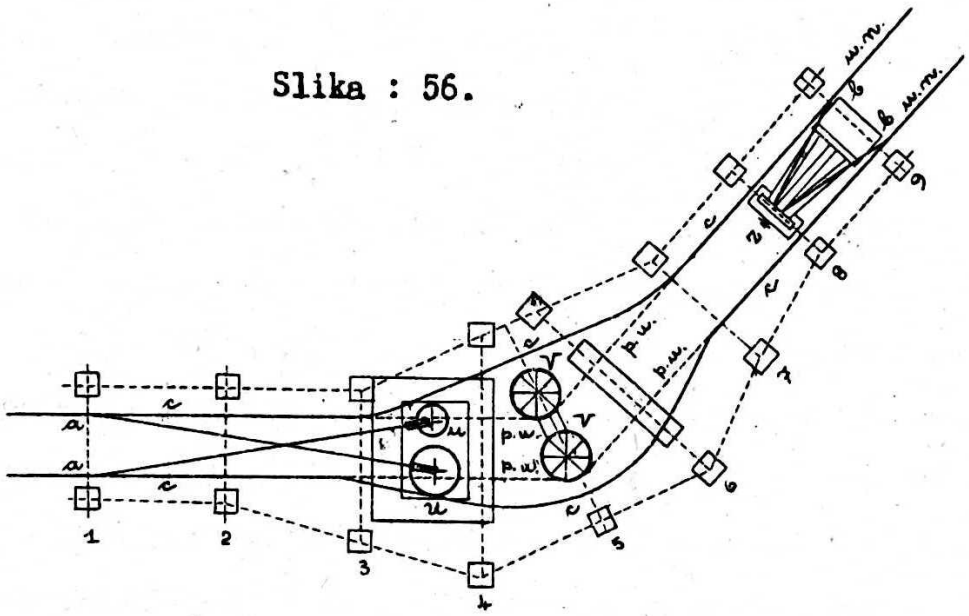
Slika : 55.



Kolica prolaze kroz tu napravu na visećim šinjama (c), a ove se priključuju na uže-nosač na ležajima prvog (1) i posljednjeg veza (5). Pogoni ih pak beskonačno pogonsko uže (p.u), sprovodjeno naročitim točkovima (e). Puno i prazno uže-nosač s lijevog kraja, počevši od ulaznog ležaja (a), skreće prema sredini, jedno do većeg utega (u), a drugo do drugog manjeg utega (w). Puno i prazno uže--nosač pak s desne strane, počevši od ulaznog ležaja (b), skreće takodjer prema sredini, do mjesta (z), na kojem je usidreno jedno i drugo o čvrsti skelet stanice. U ovoj napravi nalaze se dakle utezi lijevog odsjeka, a usidrenja desnog odsjeka. Već prema prilikama, naročito pak prema položaju i uredjenju početne i završne stanice, udešena je ta naprava i drugojačije : da se nalaze u njoj samo utezi ili samo usidrenja obaju susjednih odsjeka. Uredjaj sa dvostrukim utezima ili sa dvostrukim usidrenjem preporučuju dapače više od opisanog mješovitog uredjaja. Skeleti ovakovih naprava dugačkih zračnih željeznica, definitivnog karaktera, rado se izvode i od željeza. Općenito se pak nastoji razapeti uže-nosač svakog

odsjeka tako - prema tome dakle smjestiti i urediti čitavu napravu da je <u>viši</u> kraj užeta usidren, a <u>niži</u> opterećen sa utegom.- Pokazuje li trasa žičare u situaciji poligon, na svakom vrhu, dakle lomu smjera, treba izgraditi napravu, redovno u više svrha. Obično naime ta naprava služi ujedno i za usidrenje i napinjanje užeta-nosača. Kod takove naprave, skicirane na pr. na slici 56, puno i prazno uže-nosač napeto je sa utezima (U, u) na lijevoj strani, a nepomično je usidreno (Z) na desnoj strani. Ova naprava redovno

Slika : 56.

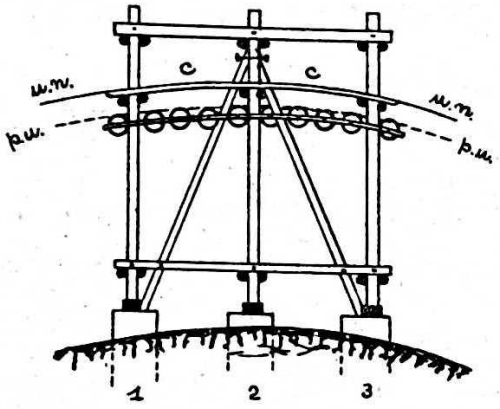


vrši dakle i funkciju malo prije opisane naprave za napinjanje užeta nosača dvaju susjednih odsjeka. Druga joj je zadaća skrenuti promet iz jednog smjera u drugi. Kod naprave, slika 56, polučuje se to s pomoću visećih šinja (c), koje se priključuju na uže nosač na ležajima prvog (1) i posljednjeg (9) veza. Na potezu 1,2,3, / dotično 7,8,9 / nalazi se iskapčalište, na kojem pogonsko uže automatski ispada iz hvataljke, a kolica se <u>rukom</u> doturaju do ukapčališta na potezu 7,8,9, / dotično 1,2,3 /, gdje pogonsko uže opet automatski zahvati kolica i ponese sa sobom. Beskonačno pogonsko uže skreću pak dva vitla, velikog promjera / D ≧ 2 m /, jedan u jednom smjeru, a drugi u drugom smjeru gibanja. Iako na ovaj način nije prekinuto gibanje pogonskog užeta, prekinut je sam promet, ako ne pritječe u pomoć <u>ruka.</u> Zbog toga udešuje se skretanje prometa i na

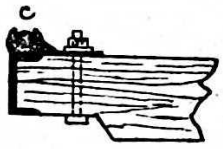
drugi, automatski način, koji se - spominjemo odmah - rijetko upotrebljava u šumarstvu. I u ovom slučaju gibaju se kolica kroz napravu na visećim šinjama. Ove su ali savinute u luk kružnice dozvoljenog minimalnog promjera, prema otvorenoj pruzi neproširenog razmaka, poput tračnica pozemne pruge u krivulji. Pogonsko uže slijedi šinje u istom luku, sprovodjeno nizom / baterijom / valjčića u malim razmacima, ili - u novije doba - svaka grana pogonskog užeta sprovodjena je jednim tek vitlom velikog promjera. Uz ovakav uredjaj pogoni pogonsko uže kolica kroz napravu u krivulji jednako kao na otvorenoj pruzi u pravcu. Uže-nosač, ako nije napet ili usidren, vodi se pak kroz takovu napravu i skreće iz jednog smjera u drugi opet s pomoću vitla, primjerenog promjera, tako, da ne smeta ni pogonskom užetu, ni prometu na visećim tračnicama. Za ovakav uredjaj zgodna su jednostavna i mala kolica, a nezgodna su dvostruka kolica sa mnogo točkova, kakova se upotrebljavaju u šumarstvu. Treća zadaća ove naprave nerijetko je : obnova pogona. U tom slučaju ona je zapravo završna stanica žičare u jednom smjeru, a u jedno i početna stanica žičare u drugom smjeru. U svakom smjeru pogoni kolica zasebno beskonačno pogonsko uže. Ovo pak pokreće gravitacija ili motor u raznim kombinacijama već prema konkretnim prilikama. Prema tome je uredjaj vrlo raznolik, a utječu na nj još i druge prilike / izim potrebe pogona još i potrebe transporta, priključaka, utovara itd. /. U šumarstvu susreće se ovakav uredjaj često.

Na jednoličnom terenu, približno horizontalnom, razmak stupova žičare takodjer je jednoličan: normalno mjeri 60 do 120 m / isp. sl. 54 na pr. početak poteza 0 - 1 ili 7 - 8 /. Duboke i velike doline uz taj razmak iziskivale bi visoke, dakle skupocjene stupove. Zbog toga premošćuju se zgodnije sa velikim rasponima / isp. sl. 54 na pr. potez 3 - 5 /. Najveća dužina takovih raspona dosiže 1,5 km. kod izvedenih već žičara. Terenski hrptovi iziskuju nasuprot manje raspone od normalnih i to s tim manje, što je krivost hrpta veća / isp. sl. 54 na pr. hrbat na potezu 1 - 2 , i 8 - 9 /. Razlog leži u spomenutom već ograničenju loma smjera užeta-nosača na

jednom te istom ležaju. Želi li se naime poštediti uže-nosač, te polučiti gladak prelaz preko ležaja, taj lom može da iznosi tek iznimno više od 1 : 10 / t.j. označuje li α kut, koga zatvara produžena osovina užeta nosača s lijeve strane sa osovinom s desne strane ležaja, pod omjerom 1 : 10 razumijeva se $tg\alpha = 0{,}1$ / . Gdjekad je krivost hrpta tako velika, da smanjenje raspona ne dostaje, nego se mora uteći drugom riješenju : podignuti naročitu napravu. Slika 57 predočuje skicu takove najjednostavnije naprave. Kolica se sprovode preko hrpta s pomoću šinja (c) , koje su savinute u luk kružnice blage krivosti. Uže nosač leži u tim šinjama, kako pokazuje detalj c ; one nijesu dakle nego preko tri veza produženi ležaj užeta nosača. Pogonsko uže sprovodi se kroz napravu u luku koncentričnom sa lukom šinja s pomoću baterije valjčića. Redovno, naravno, ne dostaju samo tri veza, kao na slici 57, nego je ta naprava mnogo duža, te sastoji od mnogo vezova, desetak ili više njih. U tom slučaju postupa se tako, da se kolica sprovode kroz napravu s pomoću normalnih visećih šinja, koje se priključuju na uže nosač na ležajima prvog i posljednjeg veza. Slično dakle kao kod prije opisanih naprava, ali s razlikom, što sad šinje ne teku u pravcu, nego u vertikalnom luku, žičari i hrptu primjerene krivosti. Uže-nosač pak, da ne smeta kolicima, skreće već od ležaja na prvom i posljednjem vezu, te prolazi sredinom naprave u luku krivosti šinja, ako nije usidren, dotično opterećen sa utegom u toj napravi. Prema prilikama može poslužiti dakle i ova kao naprava za napinjanje užeta nosača. Pogonsko uže sprovodi se kroz napravu s pomoću svrsi shodno montiranih valjčića ili točkova u svakom slučaju. Redovno su skopčane sa izvedbom ovakove naprave veće zemljoradnje :



Slika : 57.



izvedenje usjeka u hrptu, da se postigne bolja linija, a ne žaca se ni od izvedbe kraćeg tunela, ako je takovo riješenje ekonomičnije od zaobilaženja hrpta.

Stupovi / upore / šumske zračne željeznice izvode se redovno takodjer od drva, po mogućnosti na betonskom podnožju, na način i u obliku opisanom već prije u prijašnjoj tački. Uz normalan razmak od 80 do 120 m visina stupova mjeri 8 do 12 m. Budući je pregibanje užeta nosača, a pogotovo pogonskog užeta to veće, što je razmak stupova veći, stupovi iziskuju to manji razmak, što su niži. Na prelazu hrpta najmanji razmak stupova mjeri 15 do 20 m., a najmanja njihova visina 3,5 do 4 m. U normalnim prilikama najveća visina stupa neka nije mnogo veća od 15 m.

Kod razmaka stupova većeg od 800 m, povečaje se normalan razmak punog i praznog užeta za jedan metar. Dakle na pr. od normalnog razmaka 2 m na razmak od 3 m / zbog njihanja užeta pod prometom ili u uznemirenom zraku /.

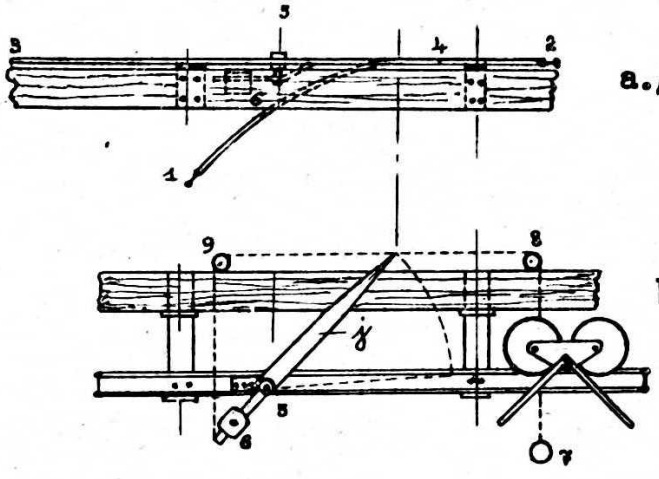
Ležaji za uže-nosač, sprovodni točkovi i valjčići za pogonsko uže, usidrenja, utezi, kolica, hvataljke, ukapčalište pa iskapčalište izvode se kod zračne željeznice jednako kao kod točila od žičnog užeta / isp. prijašnju tačku /.

Isto to vrijedi u glavnom i za stanice. Naravno, sa kapacitetom nadmašuje zračna željeznica točilo, zbog toga su stanice prve redovno prostranije, duže, naročito u dijelu odredjenom za utovar pa istovar robe. A i dio stanice u užem smislu riječi iziskuje veći prostor, zbog motora, koji pogoni zračnu željeznicu. U pravilu motor je smješten na gornjoj / višoj / stanici, a pogonsko uže napeto je u donjoj / nižoj / stanici šumske zračne željeznice. Samo iznimno je smješten motor u donjoj stanici, ako to naročite prilike iziskuju.- Pogonjeni vitao ima redovno promjer jednak razmaku užeta-nosača na otvorenoj pruzi / 2 do 2,20 m /. Pred pogonjenim vitlom nalazi se redvno još jedan, predloženi vitao, a uže obilazi jedan i drugi vitao toliko puta / 2 do 3 puta /, koliko je potrebno, da je svako smicanje užeta isključeno / isp. sl. 42 /. Na pogonje-

nom vitlu nalazi se osim užljebina, redovno ispod ovih, još i prisvoren vijenac sa zupcima, medju koje ulaze zupci čunjastog točka. Ovaj pak točak montiran je na osovini, koju okreće motor s pomoću transmisije. Iznad užljebina redovno obuhvata pogonjeni vitao čelična vrpca, koju priteže ili otpušta kočničar, kad stavlja žičaru izvan pogona ili u pogon. Za vrijeme pogona, u svrhu jednoličnog odvijanja prometa, služi redovno druga zasebna kočnica, koja radi po principu vjetrenjače / sa porastom brzine pruža sve veći otpor / ili se u tu svrhu upotrebljava kočnica / rijedje /, koja radi s pomoću tlaka vode / Wasserdruckbremse /. Jedan i drugi opisani vitao montiran je na vertikalnoj osovini, no može biti montiran i na horizontalnoj osovini. Prema položaju te osovine udešen je naravno i ostali strojevni uredjaj. Jedan ili drugi strojevni uredjaj, već prema potrebnoj snazi na periferiji vitla, pa prema veličini kuta omatanja užeta oko vitla, isporučuju tvornice gotov po narudžbi .

Zračna željeznica redovno je glavno transportno sretstvo, na koje se priključuju sporedno. Ovo opet može biti žičara, obično točilo od žičnog užeta. Priključuje se pak na početnoj stanici ili u napravi na lomu smjera glavne žičare. Kolica prelaze sa jedne žičare na drugu na visećim šinjama, koje su medjusobno spojena sa skretaljkama. Slika 58 predočuje jednu takovu skretaljku i to:

Slika : 58.



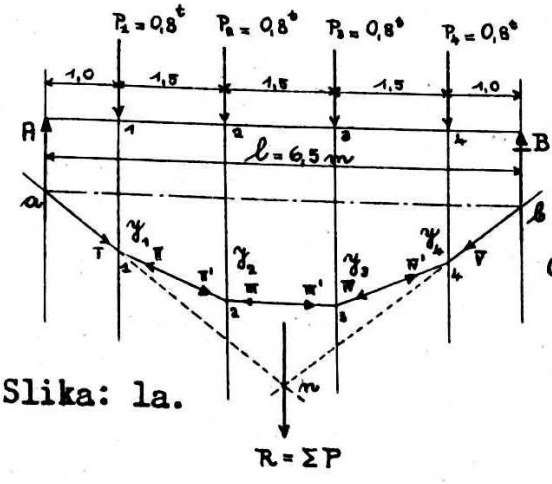
a/. u pogledu odozgo, a b/. sa strane. Neprekinuta viseća šinja je ona savinuta 1-4-2 . Na nju se priključuje jezikom / γ / prekinuta viseća šinja 3-5-4 . Jezik, opterećen na suprotnom kraju sa utegom (6) , okreće se u vertikalnoj ravnini oko zgloba 5 . Normalno se nala-

zi u nacrtom izdignutom položaju, zbog djelovanja utega. U tom slučaju otvoren je slobodan put u smjeru 1-4-2 i obrnuto. Putuju li kolica u smjeru 3-2, njezini točkovi pritisnu jezik na šinju 4-2, prelaze dakle automatski preko jezika na tračnicu 4-2. Putuju li pak kolica u obrnutom smjeru, treba radnik da rukom pritisne jezik na šinju 4-2 neposredno ili posredno s pomoću lanca 7-8-9-6. Skretaljka radi posve sigurno i ne koči brzinu kretanja kolica. Još češće od ove, upotrebljava se slično konstruirana skretaljka, kod koje se jezik ne okreće u vertikalnoj, nego u horizontalnoj ravnini. Po istom principu izradjuje se konačno i ukrštavanje visećih tračnica, koje je gdjekad takodjer potrebno na stanicama.

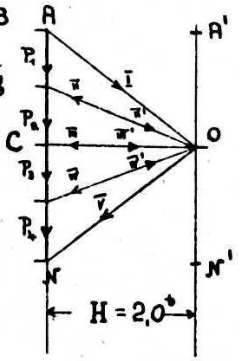
Od ostalih još uredjaja za zračne žičare spominjemo u kratko još ove. Mjesto ili potez nad kojim prolazi žičara tako nisko, da je siguran prolaz ispod ovješenih kolica spriječen valja ograditi. Kao ograda dostajat će redovno bodljikava žica. Prelaz preko javnih puteva ili površina po mogućnosti treba izbjegavati. U protivnom slučaju javne vlasti redovno traže, da se ispod žičare na križanju nad javnim putem razapne dovoljno velika i čvrsta žična mreža, koja će štititi promet na putu od eventualnih nezgoda, prouzrokovanih od prometa na žičari. Stanice zračne željeznice redovno su spojene medjusobno sa telefonom. Osim toga potreban je na pogonskoj stanici naročiti signalni aparat, koji registrira svaki položaj otpuštenih kolica na žičari. Takav aparat potreban je naročito na pogonskoj stanici, sa koje se ne može okom pratiti odvijanje prometa duž čitave žičare. -

e. Teorija žičare.

1. Užetni poligon. Rezultanta $R = \Sigma P$ zadanih tereta $P_1 P_2 P_3 P_4$ grafički odredjuje se s pomoću vektorpoligona i verižnog poligona na poznati način / slika 1 /. Verižni poligon / a 1 2 3 4 b sl.1a / dobije se, da se vektorpoligonu / AN sl.1b / odredi pol (O) povoljne polne visine / $H = 2,0^t$ /, pa sa polarnim zrakama / I, II, III, IV, V / povuku paralele / a1, 12, 23, 34 i 4b / medju zadane terete / $P_1 \ldots P_4$ /,



Slika: 1a.

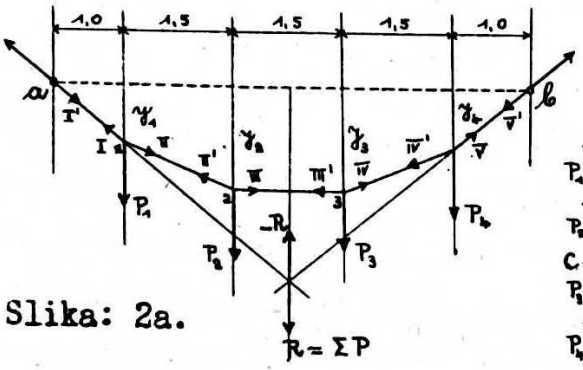


Sl. 1b.

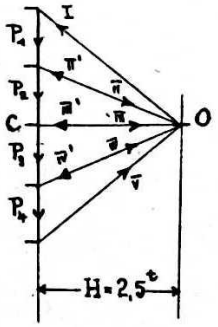
počevši od povoljne neke tačke na pravcu jednog od zadanih tereta / na pr. počevši od tačke 1 na pravcu tereta P_2 /. Vektorpoligon odredjuje smjer i veličinu /$R = \Sigma P = AN$/, a sjecište prve i posljednje stranice verižnog poligona (tačka m) položaj rezultante. Da je tome tako, slijedi iz činjenice, što smo redom rastavili zadane sile u komponente :

$P_1 \doteq |\text{I II}|$; $P_2 \doteq |\text{II' III}|$;

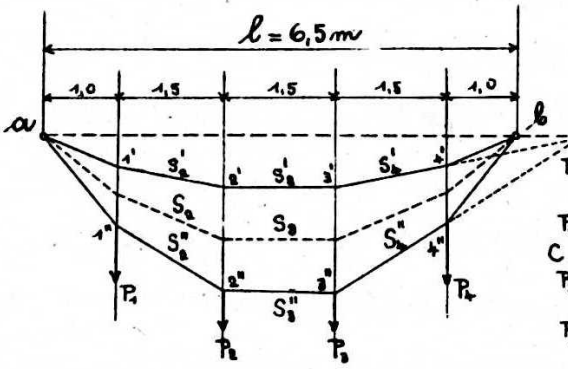
$P_3 \doteq |\text{III' IV}|$; $P_4 \doteq |\text{IV' V}|$;



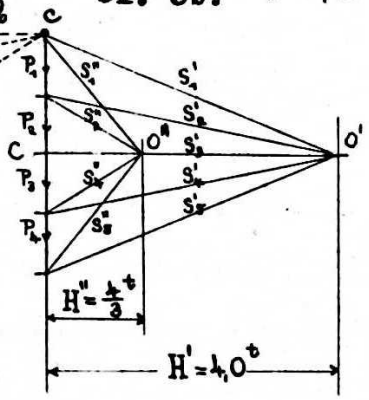
Slika: 2a.



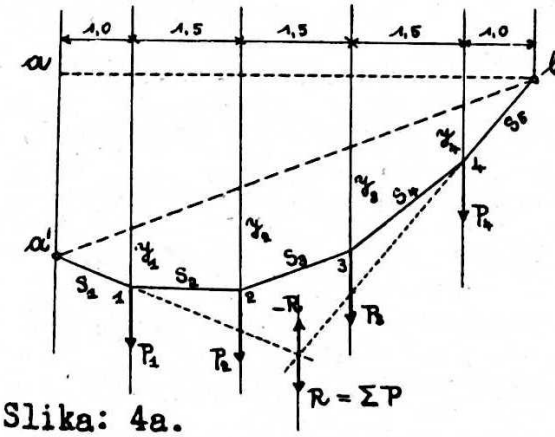
Sl. 2b.



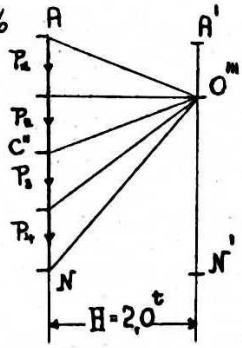
Slika: 3a.



Sl. 3b.



Slika: 4a.



Sl. 4b.

od kojih se istoimene / sa crticom i bez nje / medjusobno ukidaju tako, da je

$R = \Sigma P \doteq |\text{I V}|$.

Sile I i V dakle potpuno nadomještavaju zadani sistem sila P ,

t.j. one su komponente tražene rezultante $\mathcal{R}$.

Podamo li sada silama $\mathrm{I}\ \mathrm{II}\ \mathrm{II}'\ \mathrm{III}\ \mathrm{III}'$... suprotan smjer, t.j. odredimo li ih tako, da je:

$$|P_1\,\mathrm{I}\,\mathrm{II}| \doteq 0$$

$$|P_2\,\mathrm{II}'\,\mathrm{III}| \doteq 0 \qquad \text{/ isp. sl. 2b /}$$

$$|P_3\,\mathrm{III}'\,\mathrm{IV}| \doteq 0$$

$$|P_4\,\mathrm{IV}'\,\mathrm{V}| \doteq 0$$

onda je takodjer $|\mathrm{II}\,\mathrm{II}'| = |\mathrm{III}\,\mathrm{III}'| = \cdots = 0$, a

$$|\Sigma P,\ \mathrm{I}\,\mathrm{V}| \doteq 0.$$

T.j. sile I i V podržavaju ravnotežu sa zadanim sistemom sila P ; rezultiraju dakle rezultantu suprotnog predznaka $(-\mathcal{R})$, no u istom pravcu i jednako veliku sa rezultantom $\mathcal{R}$ zadanih sila P / sl.2a /. Verižni poligon u prvom i drugom slučaju ima isti oblik, tek strijelice u jednom i drugom slučaju imaju suprotan smjer.

U stranici 2 3 prvog poligona / sl. la / sile III i III' nastoje razmaknuti tačke 2 i 3 t.j. tlače na tačke 2 i 3 ; u odgovarajućoj stranici 2 3 drugog poligona / sl. 2a / sile III i III' nastoje privući, t.j. pritežu te tačke. Podamo li tim stranicama fizičko značenje, na pr. smatramo li ih materijalnim neteškim štapovima, štap 2 3 u prvom poligonu je tlačen, a u drugom poligonu rastezan jednako velikom silom $|\mathrm{III}|$.

Oblik vektorpoligona 2a poprimilo bi takodjer potpuno podatno / gipko / i neteško uže, opterećeno sa silama P u označenim razmacima, a nepomično učvršćeno u tačkama a i b . Otuda i ime - <u>užetni poligon</u> / das Seileck /, kojim ćemo i mi u daljnjem nazivati verižni poligon u posljednjem smislu. Praktički dovoljno tačno poprima naime oblik užetnog poligona i reelno, gipko, na obim krajevima učvršćeno uže, ako je relativno lahko prema koncentričnom opterećenju / dakle, ako se njegova vlastita težina praktički može

zanemariti prema koncentričnom opterećenju /. Nadalje označit ćemo sile /akciju i reakciju/, koje rastežu pojedinu stranicu užetnog poligona, a isto tako i paralelnu polarnu zraku u vektorpoligonu, samo sa jednim slovom i ovješenim indeksom / S_1 S_2 S_3 . . . isp. sl. 3 i 4 / i to bez oznaka strijelica u crtežu, budući su strijelice već uključene u imenu poligona. Iz sukladnosti obaju poligona / sl. 1a i 2a / slijedi onda : sva pravila, koja vrijede za verižni poligon, valjaju i za užetni poligon. Najvažnija su ova . Verižni poligon zadanih sila odredjuje ovo troje : dva smjera, dvije polarne zrake, koje odredjuju u svom sjecištu položaj pola O , i jedna tačka (a), kojom će poligon prolaziti; ili : napetost S_m / obično najveća, otuda index m/ u m- toj stranici verižnog poligona po veličini, smjeru i položaju; ili tri tačke a, b, c , kojima treba verižni poligon da prolazi, itd. Kod žičara obično je zadana polna visina H i dvije tačke / a , b /, kojima užetni poligon prolazi, ili, namjesto polne visine H , jedna od napetosti / S_a ili S_b / u čvrstim tačkama. Nadalje korisno je znati, da izmedju svih verižnih poligona, koji pripadaju vektorpoligonu jednog te istog sistema opterećenja, postoji izvjesna geometrijska veza : osovina afinitete / Culmanov pravac /, koja je paralelna sa polarnom osovinom. Sjecišta naime istoimenih stranica dvaju verižnih poligona povučenih medju istim zadanim silama / teretima / s pomoću dva razna pola / jedan paralelno sa zrakama iz pola O' , a drugi paralelno sa zrakama iz pola O''/ leže na paraleli / osovini afinitete / sa pravcem, koji prolazi obim polovima / polarna osovina /*). Na slici 3a na pr. konstruiran je jedan užetni poligon / a 1' 2' 3' 4' b / s pomoću pola O' , a drugi / a 1" 2" 3" 4" b / s pomoću pola O''. Polarna osovina je pravac $O'O''$, a osovina afinitete je paralela s ovim, pravac ab , na kojem leže tačke a, b, c . . . , sjecišta istoimenih / dovoljno produženih / stranica, $(S_1' S_1'')$, $(S_2' S_2'')$, $(S_3' S_3'')$ . . . Iz iste slike vidi se ujedno utjecaj veličine polne visine na oblik i dužinu užeta, pa na napetost u njemu. Uz iste čvrste tačke, na koje je uže učvršćeno / a i b /, pa uz isto koncentrično opterećenje,

uže je to duže, a napetost u njemu to manja, što je polna visina H manja i obrnuto uže je to kraće, a napetost u njemu to veća, što je polna visina veća. Sa porastom polne visine raste dakle napetost, a pada dužina užeta.

Verižni poligon u značenju linije momenata prostoga nosača na dvjema potporama, zgodno se može upotrijebiti za analitičko odredjenje ordinata užetnog poligona. Na sl. 1a nacrtana linija momenata /a 1 2 3 4 b/ prostog nosača AB , opterećenog sa koncentričnim teretima $P_1 \cdots P_4$, sukladna je sa oblikom užeta / a 1 2 3 4 b /, opterećenog sa istim opterećenjem, razapetog u istom rasponu /l=6,5m/ medju dvije tačke u istoj horizontali (ab), a predočenog na sl.2a. Ordinate linije momenata $y_1 \cdots y_4$ / sl. 1a / istovjetne su dakle sa istoimenim ordinatama užetnog poligona / sl. 2a /, ako se u prvom slučaju računaju od zaključne crte / $ab \parallel oc$, sl. 1 /, a u drugom slučaju od horizontale, koja spaja čvrste tačke užetnog poligona /ab sl. 2a /. Iz poznatog snošaja $y \cdot H = M$ mogu se odrediti onda te ordinate i računskim putem.

U primjeru sl. 1 uporišne reakcije prostoga nosača AB mjere :

$$A = B = \frac{1}{2}\sum P = \frac{1}{2} 4 \times 0,8 = 1,6^t .$$

$$M_1 = 1,6 \times 1 = 1,6 \text{ mt} \; ; \quad y_1 = \frac{M_1}{H} = \frac{1,6}{2} = 0,8 \text{ m}$$

$$M_2 = 1,6 \times 2,5 - 0,8 \times 1,5 = 2,8 \text{ mt} \; ; \quad y_2 = \frac{M_2}{H} = \frac{2,8}{2} = 1,4 \text{ m}$$

i dalje simetrije opterećenja radi :

$$y_3 = y_2 = 1,4 \text{ m} ; \quad y_4 = y_1 = 0,8 \text{ m} .$$

Isto toliko mjere naravno i ordinate $y_1 \cdots y_4$ užetnog poligona sl. 2b, ili pregibi užeta u tačkama 1 . . . 4 .

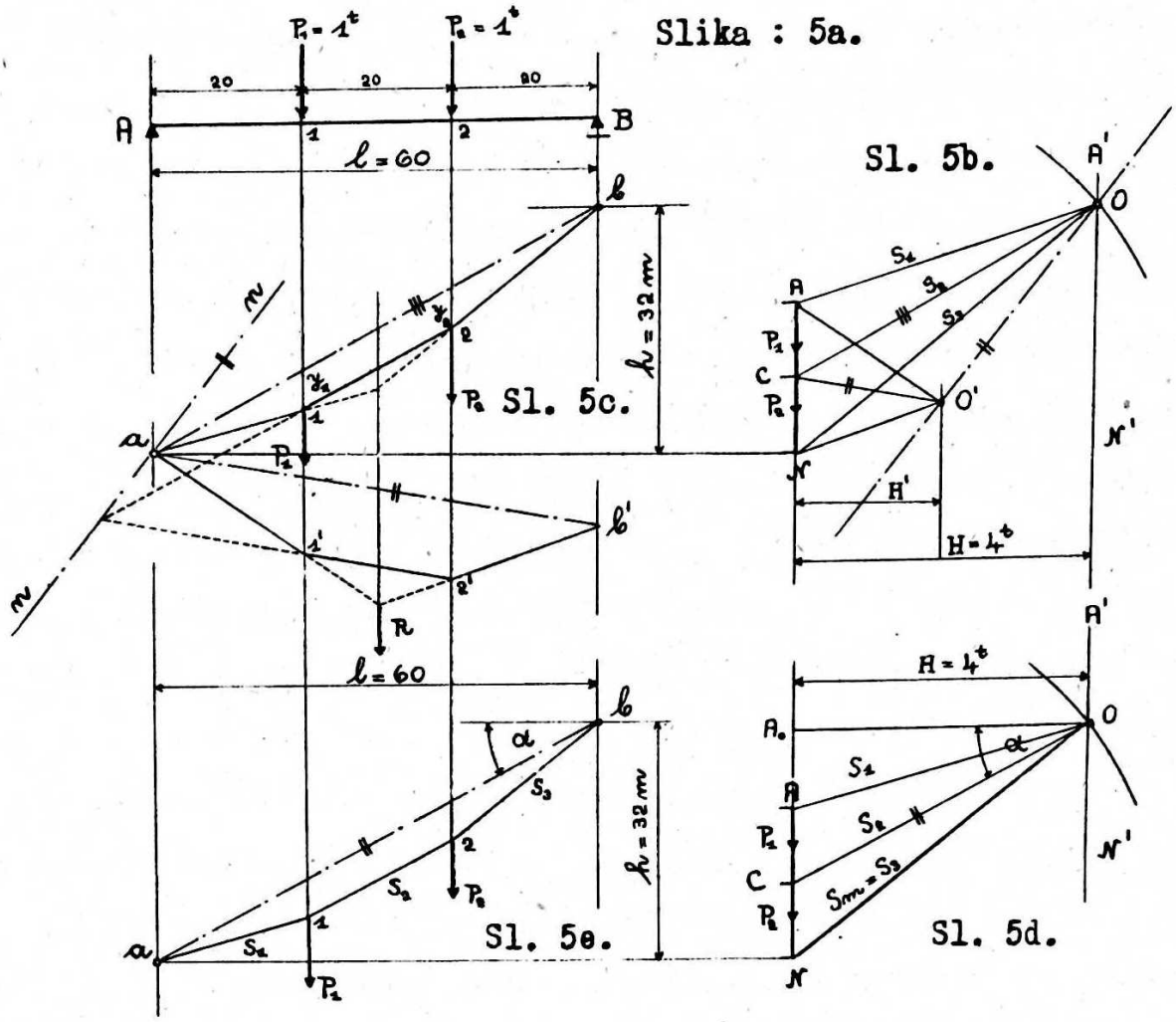
Položaj pola O prema vektorpoligonu AN nije potpuno odredjen samo sa polnom visinom H , jer svaka tačka na paraleli $A'N'$ / sl. 1b / ima istu polnu visinu H . Koju tačku te paralele uzimamo za pol crtajući liniju i površinu momenata prostoga nosača za momenat

pregibanja u povoljnom njegovom prosjeku, posvema je irelevantno. Taj momenat ima posvema odredjenu vrijednost, koja zavisi samo o veličini i položaju opterećenja na zadanom nosaču. Iz snošaja dakle $yH = M$, uz istu polnu visinu H i u istom prosjeku nosača, y ima jednu te istu vrijednost za svaki pol iste polne visine H. Zbog toga su na pr. ordinate $y_1 \cdots y_4$ linije momenata, predočene na sl. 1a, istovjetne sa istoimenim ordinatama linije momenata, predočene na sl. 4a. Jedna i druga linija momenata konstruirana je uz istu polnu visinu $H = 2^t$ za nosač i opterećenje sl. 1a. Razlika leži samo u položaju pola O i O'' na paraleli $A'N'$. Zbog toga položaja zaključna crta ab ili baza diagrama momenata u prvom slučaju je horizontalna, a u drugom nije. Ordinate ali $y_1 \cdots y_4$ u jednom i drugom diagramu jednako su velike.

Smatramo li pak liniju momenata jedne i druge slike užetnim poligonom, onda pobliže odredjenje pola O na paraleli $A'N'$ nije irelevantno. Uz odabrani položaj pola O, sl. 1b, konstruisani užetni poligon / sl. 1a / predočuje uže ovješeno o dvije tačke a i b u istoj visini, a uz položaj pola O'', sl. 4b, uže ovješeno o dvije tačke a' i b u raznim visinama.

Budući zraka / OC sl. 1b ili $O''C''$ sl. 4b / povučena iz pola / O sl. 1b ili O'' sl. 4b / paralelno sa zaključnom crtom verižnog poligona / ab sl. 1a, ili $a'b$ sl. 4a / odredjuje ujedno i uporišne reakcije nosača / AB, sl. 1a / i nadalje, budući je zaključna crta verižnog poligona identična sa spojnicom čvrstih tačaka / ab sl. 1a ili $a'b$ sl. 4a /, kojima užetni poligon prolazi, možemo te okolnosti iskoristiti, te s pomoću prostoga nosača i zadane polne visine H konstruirati užetni poligon, koji će prolaziti zadanim čvrstim tačkama u povoljnim relativnim visinama, na način kako slijedi.

Neteško, potpuno gipko uže ovješeno je na dvije čvrste tačke a i b, horizontalnog razmaka l, a visinskog razmaka h / sl. 5c /. Uz zadanu polnu visinu H treba odrediti njegov oblik / užetni poligon /, ako se ovjese na nj zadani tereti P_1 i P_2 u označenim razmacima. S pomoću vektorpoligona AN zadanog opterećenja, povoljno odabra-



nog pola O' i povoljne polne visine H' konstruiše se pomoćni verižni poligon $a\,1'\,2'\,b'$ prostoga nosača AB, opterećenog istim teretima, u istim horizontalnim razmacima. Povuče se zaključna crta ab' u njemu i paralela s ovom $O'C$, koja siječe na vektorpoligonu vektore uporišnih reakcija nosača $A = CA$ i $B = NC$. Traženi užetni poligon je afina slika tako konstriranog verižnog poligona. Smjer i položaj zaključne crte užetnog poligona je zadan /ab sl. 5c /. Iz tačke C vektorpoligona povuče se dakle paralela s tom crtom /CO sl. 5b / i u udaljenosti zadane polne visine H odredi na njoj tačka O, pravi pol traženog užetnog poligona. Osovina afinitete obaju poligona je pravac mam, paralelan sa polnom osovinom $O'O$ Osim toga prva i posljednja stranica obaju poligona, jer odredjuju položaj rezultante istog zadanog opterećenja, treba da se sijeku na pravcu te rezultante.

Zbog simetrije opterećenja na nosaču AB i jednakosti obaju tereta

u ovom je slučaju $A = B = -P_1 = -P_2$. Tačka C na vektorpoligonu dakle je poznata i zbog toga mogao je otpasti pomoćni verižni poligon $a\,1'\,2'\,b$. Mogli smo dakle odmah povući zraku CO paralelno sa zaključnom crtom ab i u zadanoj udaljenosti H odrediti na njoj pol O , pa konstruirati traženi užetni poligon / $a\,1\,2\,b$ sl. 5c i sl. 5c /. Crtanje pomoćnog verižnog poligona potrebno je u općenitom slučaju opterećenja, t.j. u slučaju većeg broja nejednakih, asimetrički smještenih koncentričnih tereta na nosaču.

Analitičko riješenje ove zadaće je

$$A = B = 1^t\,; \quad M_1 = M_2 = 20\,mt$$

$$y_1 = y_2 = \frac{M_1}{H} = \frac{M_2}{H} = \frac{20}{4} = 5m\,.$$

$$S_1 = 4{,}157^t\,; \quad S_2 = 4{,}533^t\,; \quad S_3 = 5{,}081^t\,.$$

$$s_1 = a\,1 = \frac{S_1}{4}20 = 20{,}79\,m \qquad \Sigma s = 68{,}87\,m$$

$$s_2 = 1\,2 = \frac{S_2}{4}20 = 22{,}67\,m \qquad ab = 68{,}00\,m$$

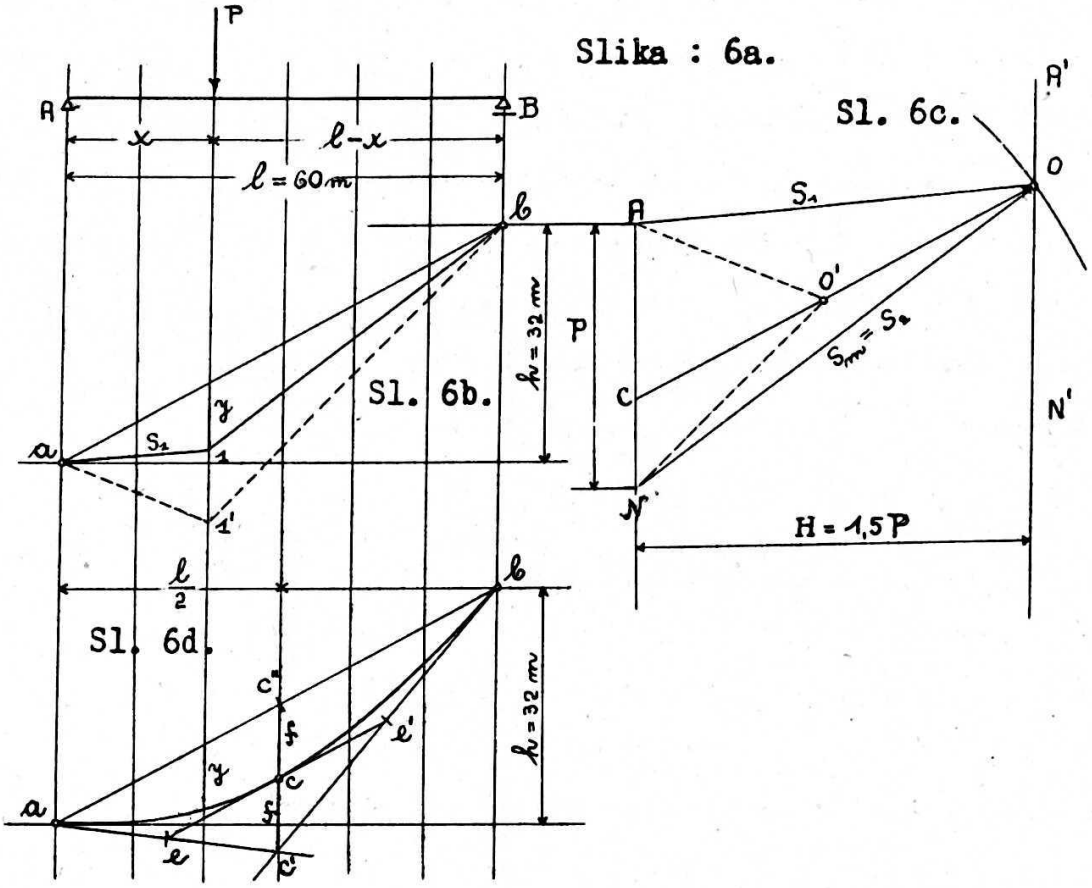
$$s_3 = 2\,b = \frac{S_3}{4}20 = 25{,}41\,m \qquad \Sigma s - ab = 0{,}87\,m.$$

Konstrukciju užetnog poligona uz zadano H za jedan koncentričan teret predočuje slika 6. Pomoćni verižni poligon crta se tako, da se iz tačke a povuče prva stranica $a\,1'$ u povoljnom smjeru, drugu stranicu odredjuju tačke $1'$ i b , a treću tačke a i b / sl. 6b /. S ovima paralelne polarne zrake AO' i NO' odredjuju pomoćni pol O'. Paralela sa trećom stranicom / zaključnom crtom ab /, zraka $O'C$ siječe na vektor-poligonu AN uporišne reakcije $A = CA$ i $B = NC$ / sl.6c /. Budući je zraka CO' paralelna sa spojnicom čvrstih tačaka a i b , ona je ujedno i zaključna crta traženog užetnog poligona, te na njoj, H daleko od vektorpoligona AN , mora da leži i pol O tog užetnog poligona. Paralela sa AN u udaljenosti H siječe dakle produženu zraku CO' u traženom polu O , koji odredjuje traženi užetni poligon $a\,1\,b$ / sl. 6b /.

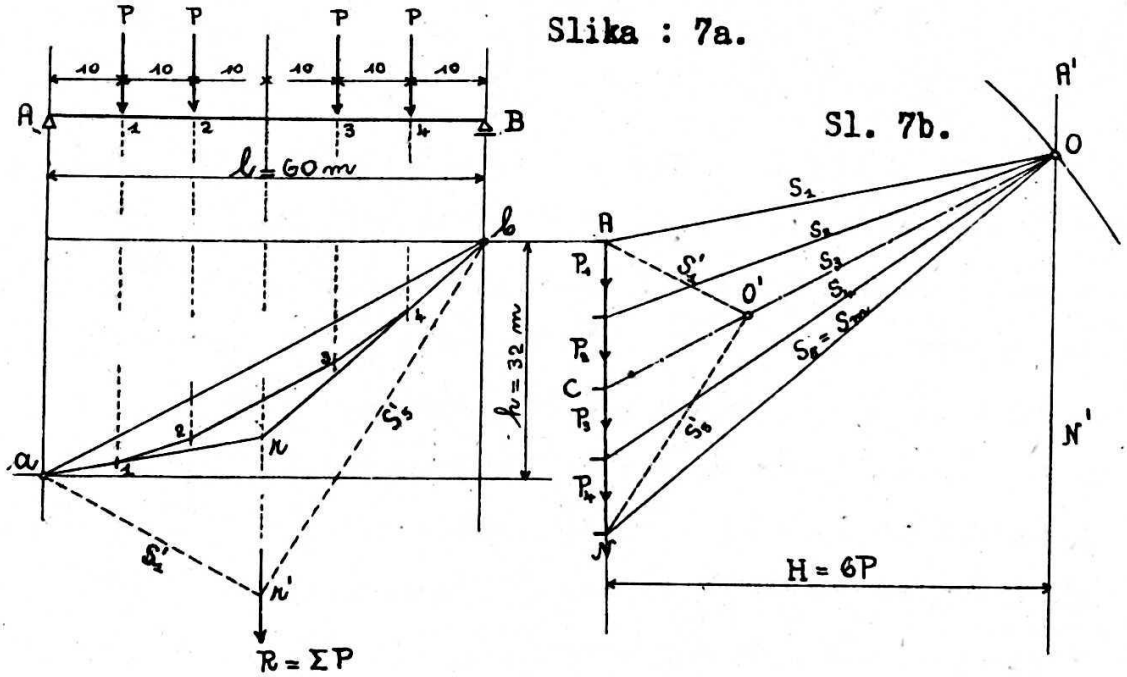
Ova konstrukcija može se upotrijebiti i u slučaju više koncentrič-

nih tereta, ako je položaj njihove rezultante poznat ili unaprijed odredjen / sl. 7 /. Budući su prva (S_1') i posljednja stranica (S_s') po-

Slika : 6a.



Slika : 7a.



moćnog verižnog poligona komponente rezultante opterećenja R, moraju se sijeći u istoj tački (n') sa tom rezultantom. One odredjuju ujedno i pomoćni pol O'. Na produženoj zraci CO' / sl. 7b /, H daleko od vektorpoligona (AN), nalazi se pravi pol O, s pomoću kojega je konstruiran traženi užetni poligon $a\,1\,2\,3\,4\,b$.

Ako je zadana najveća napetost S_m u užetu, namjesto polne visine H , konstrukcija užetnog poligona mijenja se samo u ovome : Pravi pol O traženog užetnog poligona nalazi se u sjecištu produžene zrake $CO' \parallel ab$ sa lukom kružnice polumjera $NO = S_m$ / središte luka leži u tački N /. Ta napetost najveća je uvijek u stranici užetnog poligona, koja prolazi višom čvrstom tačkom užeta / b isp. sl. 5, 6 i 7/.

Ovješeni teret na užetu žičara ne miruje, nego se kreće. Sa položajem tereta mijenja se i oblik užeta. Zbog sigurnosti prometa na zemlji ispod žičare, a i drugih konstruktivnih razloga radi, potrebno je poznavati najniži položaj svake tačke užeta pod pokretnim opterećenjem. Zbog toga potrebno je poznavati krivulju, koja spaja te najniže tačke, a nazivamo je : krivulja najvećih pregiba užeta pod pokretnim koncentričnim opterećenjem / Lastwegkurve unter Einzellasten / ili u kratko samo krivulja najvećih pregiba.

Iz dosadanjeg razmatranja vidjeli smo, da je pregib na povoljnom mjestu užeta odredjen, ako je zadana polna visina H , sa jednadžbom:

$$y = \frac{M}{H} \quad \ldots\ldots \quad 1.)$$

M označuje u ordinati pregiba momenat pregibanja prostoga nosača prvo: raspona l, jednakog horizontalnom razmaku čvrstih tačaka a i b, o koje je uže ovješeno, drugo: opterećenog sa istim teretom, sa kojim je opterećeno i uže, u istim horizontalnim razmacima. Ordinata y nanosi se pak od spojnice čvrstih tačaka a i b prema dolje, u smjeru opterećenja.

Putuje li na pr. samo jedan teret P po užetu u izvjesnoj horizontalnoj udaljenosti x od lijeve čvrste tačke a, momenat pregibanja prostog nosača mjeri / sl. 6a / :

$$M = \frac{P(l-x)}{l} \cdot x \ ,$$

a pregib užeta:

$$y = \frac{P}{Hl} x(l-x) \quad \ldots\ldots \quad 2.)$$

Ovo je jednadžba parabole, predočena na slici 6d, dakle i jednadžba krivulje najvećih pregiba užeta, ako po njemu putuje samo jedan koncentričan teret.

Maksimum za y nastupa, kad je

$$\frac{dy}{dx} = \frac{P}{H\ell}(\ell - 2x) = 0$$

t.j. u polovici raspona : $x = \frac{\ell}{2}$, te mjeri

$$y_{max} = f = \frac{P\ell}{4H} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 3.)$$

Budući su ordinate lijevo i desno manje od ordinate y_m, to je toj ordinati pripadajuća tangenta paralelna sa bazom ab / tangenta ee' u tački e, sl. 6d /. Tangente krivulje u krajnim tačkama odredjuje tačka c'. One se sijeku u raspolovnici raspona ℓ od baze :

$$c''c' = 2y_m = 2f = \frac{P\ell}{2H} \text{ daleko.}$$

Ordinate krivulje najvećih pregiba, predočene na sl. 6d su ova, / isp. formulu 2 /:

$$y = \frac{P}{1{,}5P \times 60} x(60 - x) = \frac{x(60-x)}{90}$$

x	10	20	30	40	50
y	5,555	8,888	10,0	8,888	5,555

Općenito, ako je $H = nP$, ordinate krivulje najvećih pregiba mjere / za jedan koncentričan teret /, slijedi iz 2.) :

$$y = \frac{x(\ell - x)}{n \cdot \ell} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 4.)$$

Putuju li dva, redovno jednako velika tereta $P_1 = P_2 = P$ po neteškom užetu u stalnom razmaku a, treba ispitati pregibe pod jednim i drugim teretom, da se pronadju ordinate krivulje najvećih pregiba. Tereti putuju na žičari redovno samo u jednom smjeru. U našem slučaju neka je taj smjer od B prema A / sl. 8 /. Istražujemo najprije pregibe pod teretom P_1 . Uporišna reakcija A prostoga nosača horizontalnog raspona ℓ, ako se taj teret (P_1) nalazi x daleko od nje, mjeri / sl. 8a /:

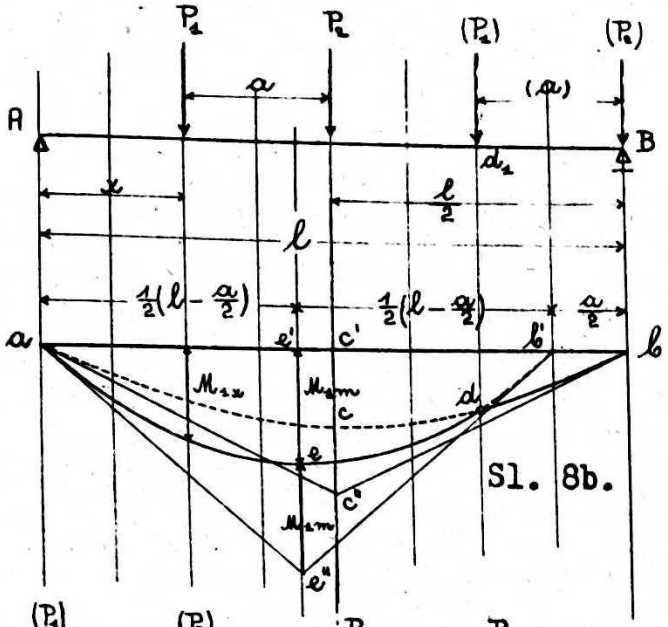
$$A = \frac{2P}{\ell}\left[\left(\ell - \frac{a}{2}\right) - x\right] \quad . \quad 6.)$$

Ova formula vrijedi samo za vrijednosti

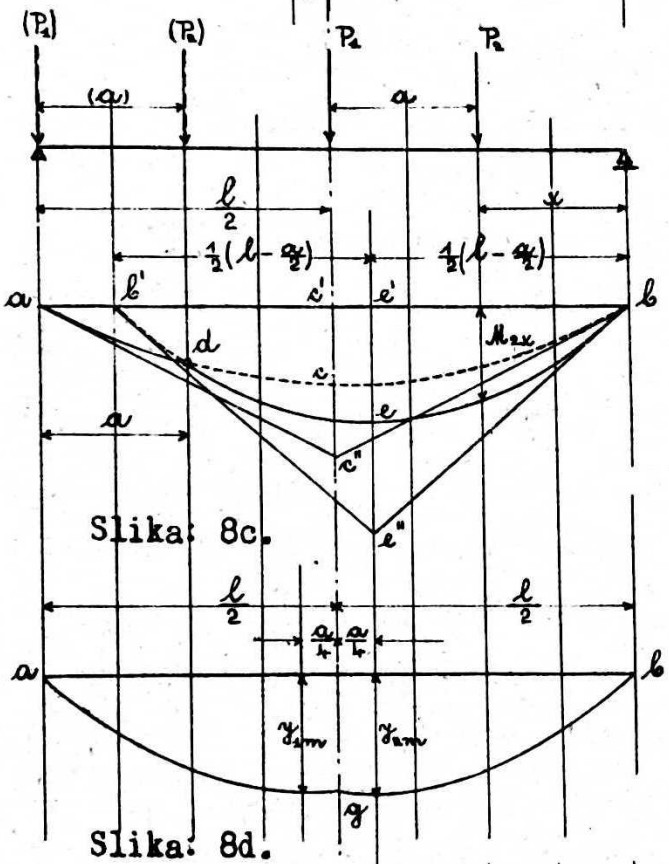
$$0 \leqq x \leqq \ell - a \quad \ldots\ldots\ldots \quad 7.)$$

jer se samo u tom intervalu nalaze <u>oba</u> tereta $P_1 = P_2 = P$ istodobno na nosaču. Momenat pregibanja prostoga nosača pod teretom P_1 iznosi onda :

Slika : 8a.

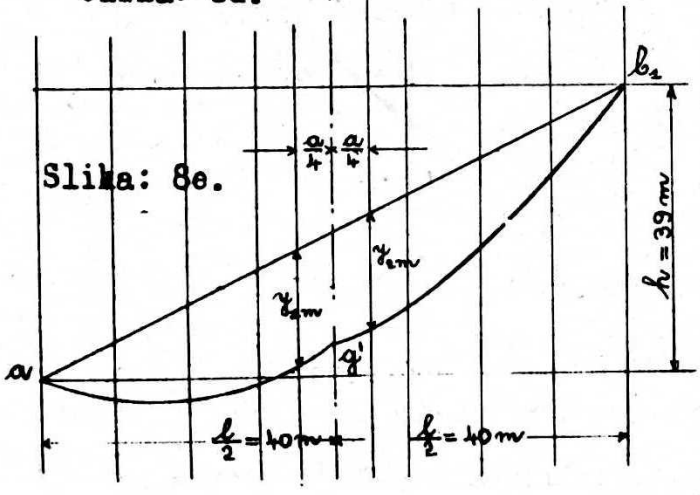


Sl. 8b.



Slika: 8c.

Slika: 8d.



$$M_{1x} = \frac{2P}{l} x \left[\left(l - \frac{a}{2} \right) - x \right] \qquad 8.)$$

a predočuje parabolu $acdb$ / sl. 8b /. Najveću vrijednost poprima za:

$$x = \frac{1}{2}\left(l - \frac{a}{2} \right), \qquad 9.)$$

te mjeri na tom mjestu /$e'e$ sl. 8b / :

$$M_{1m} = \frac{P}{2l}\left(l - \frac{a}{2} \right)^2. \qquad 10.)$$

Za $x = l - \frac{a}{2}$ je

$M_{1x} = 0$ / tačka b' /. Tangenta u toj tački siječe se pak sa tangentom tačke a u tački e'' tako, da je $e'e = ee'' = M_{1m}$. Od te parabole vrijedi samo grana aed, jer su samo na tom potezu oba tereta istodobno na nosaču. Putujući od B prema A nalazi se na potezu Bd_1 <u>samo</u> teret P_1, a liniju najvećih pregiba odredjuje prije izvedena jednadžba 2.). Putuju li dakle po užetu dva jednako velika tereta u razmaku a, u smjeru od B prema A, linija najvećih pregiba pod prvim (P_1) teretom sastoji od grana dviju parabola. Ordinate te krivulje mjere :

za $0 \leqq x \leqq (l-a)$: $y_1 = \frac{2P}{lH} x\left[\left(l-\frac{a}{2}\right)-x\right]$ / slijedi iz 1.) i 8.)/

a za $(l-a) \leqq x \leqq l$: $y_1 = \frac{P}{lH} x(l-x)$ / vidi 2.)/

Označuje li sada x udaljenost drugog tereta (P_2) od upore B, za reakciju te upore izlazi / sl. 8c / :

$$B = \frac{2P}{l}\left[\left(l-\frac{a}{2}\right)-x\right]$$

dakle ista jednadžba kao prije za A i analogno za momenat pregibanja pod tim teretom :

$$M_{2x} = \frac{2P}{l} x\left[\left(l-\frac{a}{2}\right)-x\right] \quad / \text{ isp. } 8.) /$$

ista jednadžba, kao za momenat pregibanja pod teretom P_1.
Linija najvećih pregiba za teret P_2 zrcalna je dakle slika takove linije za teret P_1 / sl. 8c/.
Linija M_{1x} ima veće ordinate u lijevoj polovici nosača, a linija M_{2x} u desnoj. Uz zadanu polnu visinu H ordinate krivulje najvećih pregiba mjere dakle u lijevoj polovici raspona l : $y = \frac{M_{1x}}{H}$, a u desnoj $y = \frac{M_{2x}}{H}$. Budući pak jedn. M_{1x} ima isti oblik sa jedn. M_{2x}, ordinate krivulje najvećih pregiba za dva jednako velika tereta općenito mjere :

$$y = \frac{2P}{lH} x\left[\left(l-\frac{a}{2}\right)-x\right] . \qquad 11.)$$

Vrijednosti x treba uzimati u smjeru od upore A prema upori B u lijevoj polovici, a od upore B prema upori A u desnoj polovici raspona l. Najveći pregibi nalaze se lijevo i desno $\frac{a}{4}$ daleko od raspolovnice raspona l te mjere / isp. 10.) / :

$$y_m = \frac{P}{2lH}\left(l-\frac{a}{2}\right)^2 \qquad 12.)$$

U samoj raspolovnici najveći pregib mjeri :

$$y_{l/2} = \frac{P}{2H}(l-a), \quad \ldots \ldots \qquad 13.)$$

te je $y_m > y_{l/2}$, jer je za $0 < a \leqq 0{,}586\,l$

$$y_m - y_{l/2} = \frac{Pa^2}{8Hl} > 0 \quad \ldots \ldots \qquad 14.)$$

Ako je $a \geqq 0{,}586\,l$ jednadžba 2.) daje veće ordinate. U tom slučaju krivulja najvećih pregiba nastupa naime pod jednim teretom, kao da je samo taj putovao preko užeta / isp. Prometala I.dio str.120 /.

Na slici 8d./ predočena je linija najvećih pregiba za neteško uže razapeto medju tačkama a i b u istoj horizontali, uz ove podatke: $l = 80$ m; $a = 20$ m; $H = 2P$. Jednadžba 11.) poprima oblik :

$$y = \frac{x(70-x)}{80},$$

pak je :

za x =	10	20	30 m
y =	7,5	12,5	15 m

.

Najveće ordinate leže $\frac{20}{4} = 5m$ lijevo i desno od raspolovnice raspona, te mjere / iz 12 / :

$$y_m = y_{m_1} = y_{m_2} = \frac{(80 - \frac{20}{2})^2}{2 \cdot 80 \cdot 2} = 15,31\ m .$$

U sredini raspona ordinata mjeri / iz 13 / :

$$y_{l/2} = \frac{80 - 20}{2 \cdot 2} = 15\ m$$

pak je doista / iz 14 / :

$$y_m - y_{l/2} = \frac{\overline{20}^2}{8 \cdot 2 \cdot 80} = 0,31\ m$$

Na slici 8e./ predočena je krivulja najvećih pregiba užeta uz iste podatke kao u slici 8d., s tom razlikom, što čvrste točke a i b_1 ne leže u istoj horizontali, nego tačka b_1 nadvisuje tačku a za $h = 39$ m. Razlikuje se ta krivulja od prijašnje / sl. 8d / samo u tome, što su prije izračunate ordinate u istim vertikalama sada nanesene ispod kose baze ab_1.

Odredjenje krivulje najvećih pregiba svedeno je kako se vidi iz dosadašnjeg razlaganja na odredjenje linije maksimalnih momenata prostoga nosača odredjenog raspona l . Iz formule 1.) izlazi naime, da je na promatranom mjestu pregib užeta najveći, kad je momenat pregibanja prostoga nosača postigao maksimum na istom mjestu / u istoj vertikali /, ako pretpostavljamo polnu visinu / ili horizontalan napon užeta / H zadanom konstantom.

Putuje li pak po prostom nosaču više koncentričnih tereta razne veličine, u kraćim ili dužim razmacima, ordinate linije maksimalnih momenata, preglednije nego analitički odredjuju se grafički, s pomoću linije utjecaja. Potrebno predznanje o liniji utjecaja prostoga nosača uopće, a za momenat pregibanja napose, na ovom mjestu možemo pretpostaviti / isp. Prometala I. dio strana 129 /,

pa zbog toga prelazimo odmah na konkretan primjer.

Četiri koncentrična i jednako velika tereta P putuju u konstantnim razmacima $a = 10$ m, i $b = 20$ m preko neteškog užeta, koje je razapeto medju dvije čvrste tačke a i b horizontalnog razmaka $l = 100$ m i zadanog horizontalnog napona / polne visine / H . Treba odrediti liniju najvećih pregiba užeta / Sl. 9 i 10 /. Budući se svakom položaju pokretnog opterećenja na lijevoj polovici razmaka l može odrediti simetričan položaj na desnoj polovici, tražena krivulja bit će simetrična obzirom na raspolovnicu tog razmaka, a za njezino potpuno odredjenje dovoljno će biti pronaći ordinate tek za jednu, redovno lijevu polovicu. Tu polovicu razdijelili smo sa pet prosjeka u pet jednaka / 10 m. dugačka / dijela. Za svaki prosjek nacrtana je linija utjecaja zasebno / Sl. 9b, c, d, e, f /. Pokretno opterećenje smješteno je kod svake linije utjecaja tako, da tereti leže nad najvećim ordinatama te linije. Pri tom uzeta je u obzir naravno i realnost takovog položaja uz zadan smjer putovanja opterećenja B→A . Uz ovakovo smještenje nastaje u odgovarajućem prosjeku prostoga nosača AB, raspona l, najveći mogući momenat pregibanja. Računska njegova vrijednost izlazi iz poznatog snošaja $M = \Sigma P\eta$, ako η označuje ordinatu linije utjecaja u smjeru / u vertikali / tereta P . Na ovaj način odredjen najveći mogući momenat pregibanja, za svaki prosjek, zabilježen je uz pripadajuću liniju utjecaja. Medju ovima najveći, t.z. apsolutno najveći momenat pregibanja M_m, odredjen je takodjer na poznat način / isp. Promet. I. dio str. 118 / s pomoću slike 9g, uz koju je ubilježena i njegova računska vrijednost.

Ordinate tražene krivulje najvećih pregiba izlaze onda iz jednadž. 1.) ako je horizontalan napon zadan, na pr. sa $H = 25P$, općenito :

$$y = \frac{M}{H} = \frac{M}{25P} = 0{,}04\,\frac{M}{P},$$

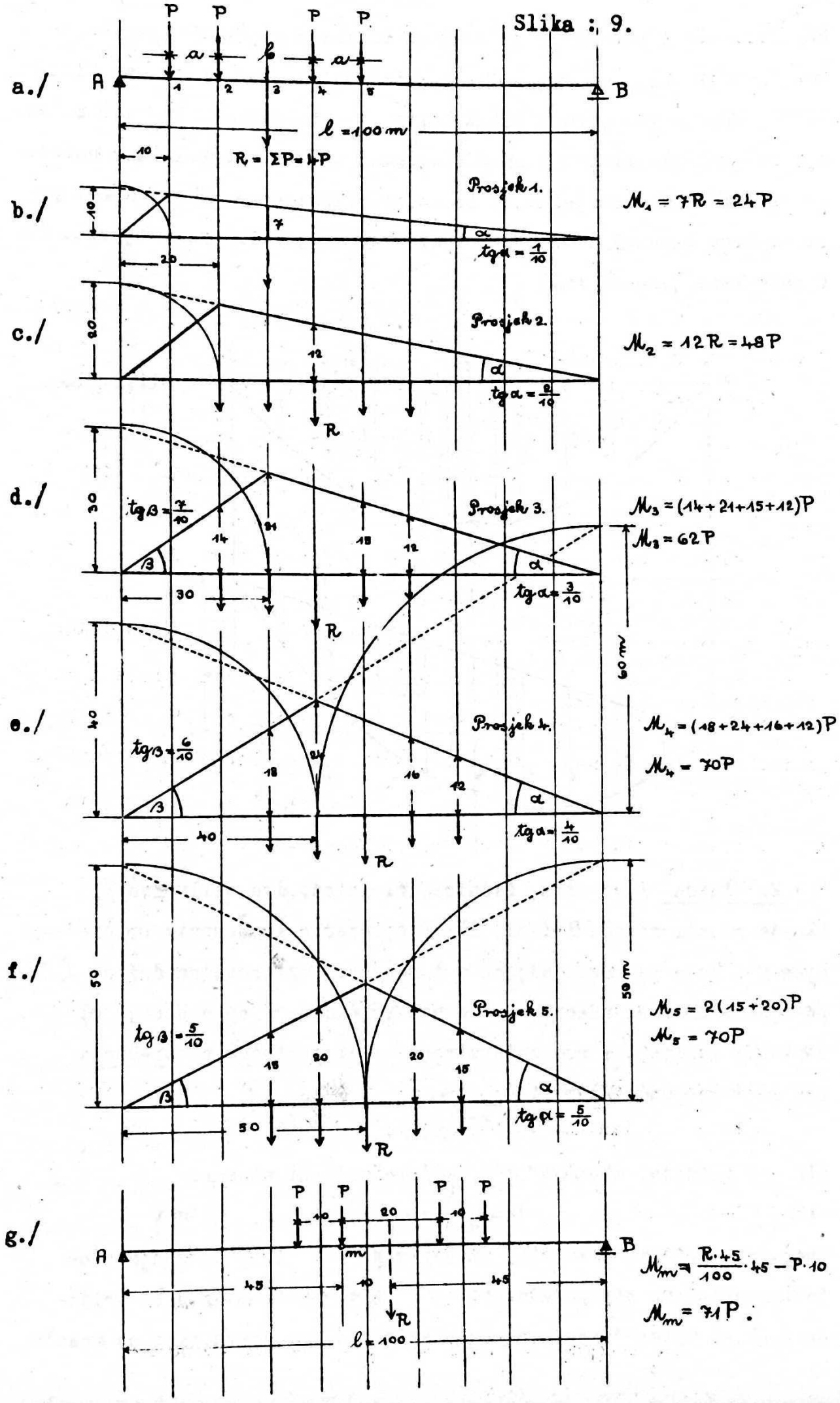
napose pak :

$$y_1 = 0{,}04 \times 28 = 1{,}12\ m; \quad y_4 = 0{,}04 \times 70 = 2{,}80\ m$$

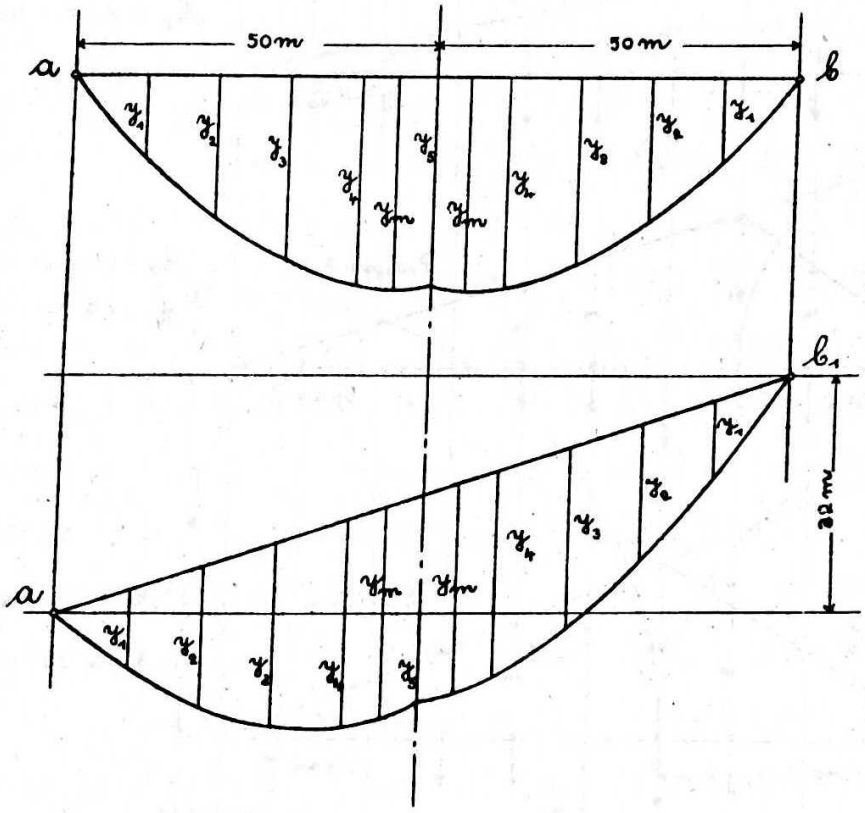
$$y_2 = 0{,}04 \times 48 = 1{,}92\ m; \quad y_m = 0{,}04 \times 71 = 2{,}84\ m$$

$$y_3 = 0{,}04 \times 62 = 2{,}48\ m; \quad y_5 = 0{,}04 \times 70 = 2{,}80\ m$$

Slika : 9.


a./
b./
c./
d./
e./
f./
g./
P
a
b
A
B
1
2
3
4
5
l = 100 m
R = ΣP = 4P
Prosjek 1.
M₁ = 7R = 24P
tgα = 1/10
Prosjek 2.
M₂ = 12R = 48P
tgα = 2/10
tgβ = 7/10
Prosjek 3.
M₃ = (14+21+15+12)P
M₃ = 62P
tgα = 3/10
tgβ = 6/10
Prosjek 4.
M₄ = (18+24+16+12)P
M₄ = 70P
tgα = 4/10
tgβ = 5/10
Prosjek 5.
M₅ = 2(15+20)P
M₅ = 70P
tgα = 5/10
m
M_m = R·45/100 · 45 − P·10
M_m = 71P.

Na slici 10a./ predočena je konačno krivulja najvećih pregiba za uže, ako je razapeto medju dvije tačke u istoj visini, a na slici 10b./, ako je razapeto u istom horizontalnom razmaku ℓ = 100 m, medju dvije tačke a i b u raznim visinama. U istim vertikalama nanesene su iste ordinate jedamput od horizontalne baze ab, a drugi puta od kose baze ab_1 i to u desetputa većem mjerilu prema mjerilu dužina - veće jasnoće radi.



Slika: 10a.

Slika: 10b.

2. Užnica / užanica, žičnica, žicanica; die Seilkurve /.

Ako je prosti nosač AB / Sl. 11a / opterećen sa ukupnim opterećenjem P, koje je razdijeljeno duž njegove horizontalne dužine ℓ po njekom zadanom zakonu, dakle ako ΔP označuje opterećenje elementa Δx dužine ℓ, pod intenzivnošću ili gustoćom opterećenja razumijevamo onda slomak:

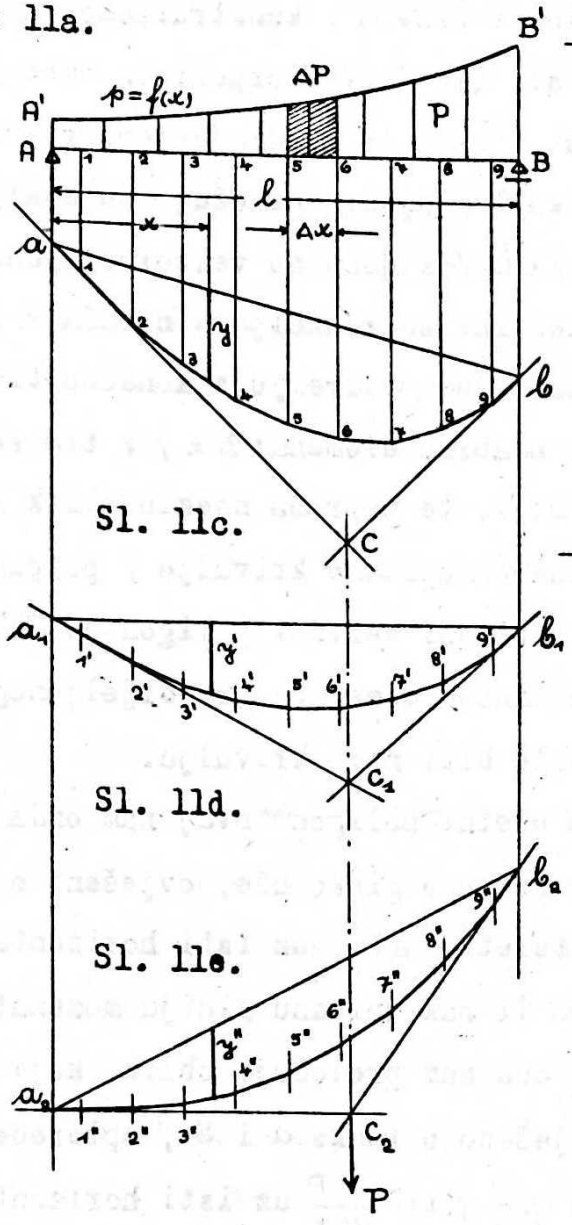
$$p = \frac{\Delta P}{\Delta x}$$

ili još tačnije, ako $\Delta x \to 0$, diferencijalni slomak:

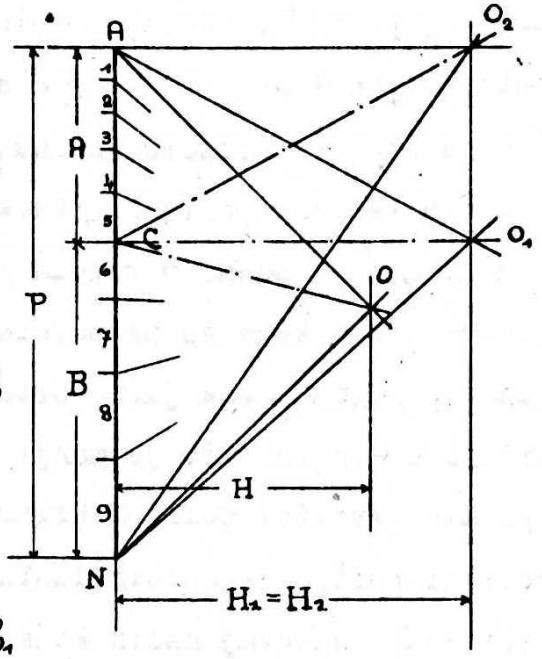
$$p = \frac{dP}{dx}. \qquad 15.)$$

Zbog toga može se i kazati, da je intenzivnost opterećenja p na jedinicu dužine otpadajuće opterećenje elementa Δx. Razdijeljeno ovakovo opterećenje predočuje se površinom povrh osovine nosača,

Slika: 11a.



Slika: 11b.



koja je ne samo po kvadraturi proporcionalna sa ukupnim iznosom opterećenja P, nego i po svom obliku pokazuje način, na koji se ono rasprostire po nosaču. Redovno je intenzivnost zadana kao funkcija apscise i zbog toga je površina opterećenja redovno omedjašena sa osovinom nosača i krivuljom $p = f(x)$. Svakoj apscisi x pripadajuća ordinata proporcionalna je onda sa intenzivnošću opterećenja na istom mjestu.

Želimo li odrediti diagram momenata za ovakovo opterećenje grafički, postupa se ovako: Površinu opterećenja razdijelimo u jednake, Δx široke dijelove tako, da se praktički mogu smatrati trapezima. Središnjice / 1, 2, 3 . . . / su proporcionalne onda sa površinama tih trapeza, dakle i sa pripadajućim opterećenjem na dužini Δx. Smatramo ih vektorima opterećenja ΔP i slažemo ih u vektorpoligon / AN sl.11b; pojedini vektori, proporcionalni sa pripadajućim opterećenjem ΔP, označeni su samo sa rednim brojkama 1, 2, 3 . . . /. Pomoću povoljno

odabranog pola O , povoljne polne visine H , konstruiramo zatim verižni poligon / a 1 2 . . . 9 b sl. 11c /. Vektorpoligon odredjuje veličinu / AN /, proporcionalnu sa ukupnim opterećenjem, rezultantom P , a verižni poligon / tačka C / njezin položaj. Sa zaključnom crtom / ab / povučena paralela / OC / siječe na vektorpoligonu dužine CA i NC , koje su proporcionalne sa reakcijama nosača A i B . Verižni poligon i zaključna crta zajedno odredjuje konačno traženu površinu momenata. Čim je manji odabran elemenat Δx , s tim se više primiče verižni poligon krivulji, te poprima njezin oblik / i to u verižni poligon konačnih dužina Δx upisane krivulje / potpuno, ako $\Delta x \rightarrow 0$ Na ovaj način konstruirani verižni poligon je dakle tek tangencijalan poligon prave linije momenata razdijeljenog opterećenja, jer ova uistinu ne može biti nego krivulja.

Smatramo li sada a, 1, 2, ... 9, b užetni poligon ovaj nam onda predočuje oblik, koji bi poprimilo potpuno gipko uže, ovješeno o tačke a i b , pa opterećeno istim teretima ΔP , uz isti horizontalan napon H . Smatramo li i nazovemo li pak upisanu liniju momenata u tom verižnom poligonu, užnicom, ona nam predočuje oblik, koji bi poprimilo potpuno gipko uže, ovješeno o tačke a i b , opterećeno istom intenzivnošću opterećenja $p = f(x) = \frac{dP}{dx}$ uz isti horizontalan napon H . Pod užnicom razumijevamo dakle oblik krivulje, koji poprima o dvije čvrste tačke ovješeno potpuno gipko uže, ako je opterećeno sa intenzivnošću, koja je funkcija apscise u smjeru horizontalne projekcije užeta / horizontalnog razmaka čvrstih tačaka /.

Uz zadanu površinu opterećenja / P /, za isti nosač, može se konstruirati po volji mnogo dijagrama momenata, različitog oblika, već prema položaju pola / O / u odabranoj udaljenosti od vektorpoligona / H /.

Za isti prosjek nosača odredjuje produkat Hy svakog od ovih dijagrama isti momenat pregibanja M. Za opterećeni nosač sl. 11a nacrtana su tri dijagrama momenata raznog oblika. Prvi, sl.11c, iz pola O , polne visine H ; drugi iz pola O_1 / sl. 11d / i treći iz pola O_2 / sl. 11e / iste polne visine H_1-H_2 . U udaljenosti x za

isti prosjek nosača, sva tri dijagrama daju isti momenat pregibanja $M_x = Hy = H_1 y' = H_2 y''$. - Kad se dakle radi samo o odredjenju momenata pregibanja prostoga nosača AB , odabiranje pola i oblik dijagrama posve je irelevantan. Svaki dovodi jednako do cilja. Nasuprot nije tome tako smatra li se verižni poligon užnicom. Za odredjenje ove, osim površine opterećenja i horizontalnog razmaka l čvrstih tačaka a i b , potrebno je poznavati još visinski njihov razmak, pa još jednu veličinu, na pr. polnu visinu H . Okolnost pak, da je u istoj vertikali $Hy = M_x$ konstans, zgodno se iskorišćuje kod konstrukcije užetnice u konkretnom slučaju, kad su spomenuti potrebni podaci zadani. -

Na slici 11d zadane su na pr. čvrste tačke a_1 i b_1 u istoj visini, pa treba odrediti užnicu za opterećenje sl. 11a, uz horizontalan napon H_1 . Najprvo je konstruisan pomoćni verižni poligon $a, 1, 2 \dots 9, b$ / sl. 11c /. S pomoću zaključne crte ab odredjene su zatim uporišne reakcije A i B istoimenog prostoga nosača / tačka C na vektorpoligonu AN /. Budući je zadana spojnica $a_1 b_1$ ujedno i zaključna crta traženog užetnog poligona / užnice /, to mora pol O_1 ležati na paraleli s tom spojnicom, povučenoj kroz tačku C vektorpoligona, H_1 daleko od njega. Sa zrakama iz pola O_1 povučeni verižni poligon kroz tačke a_1 i b_1 odredjuje tačno traženu užnicu. Kontrola : prva i posljednja stranica verižnog poligona moraju se sjeći u istoj tački sa smjerom rezultante P .

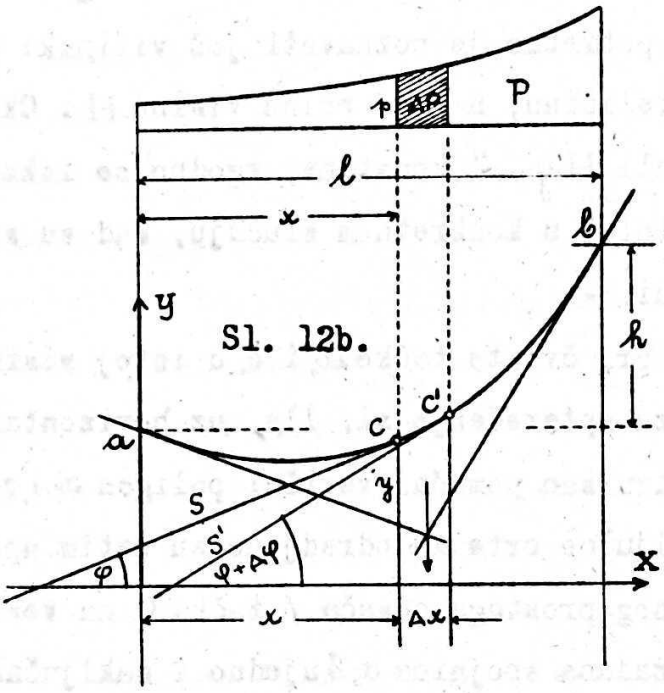
Analogno je konstruirana užnica, koja prolazi kroz zadane čvrste tačke a_2 i b_2 u raznim visinama / sl. 11e /. Budući je zadan horizontalan napon $H_2 = H_1$, to su ordinate užnice $a_1 b_1$ i užnice $a_2 b_2$ jednako velike / $y' = y''$ / .

Grafičko odredjenje užnice za razdijeljeno opterećenje svedeno je na odredjenje užetnog poligona za koncentrično opterećenje na ovaj način. Zbog toga sva pravila rečena tamo vrijede i ovdje. -

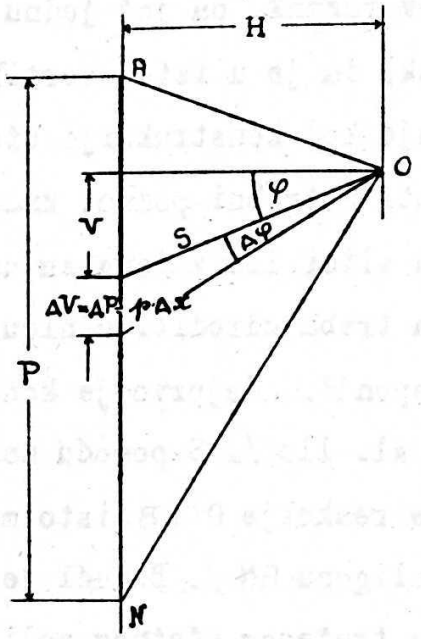
U svrhu analitičkog odredjenja užnice konstruirali smo uz njeku površinu opterećenja / P sl. 12a / pripadajuću užnicu / sl. 12b / s pomoću vektorpoligona AN povoljno odabranog pola O i polne visi-

ne H / sl. 12c /. Od lijevog kraja površine opterećenja x daleko neka je intenzivnost opterećenja $p = f(x)$. U istoj udaljenosti ordinata tačke C užnice neka je y i to mjerena od povoljne horizontale X . C je dakle tačka užetnice sa koordinatama x, y i sa intenziv-

Slika : 12a.



Slika: 12c.



nošću opterećenja $p = f(x)$. Tangenta S povučena u toj tački zatvara sa osovinom X kut φ . Istoimena zraka, povučena paralelno sa tom tangentom iz pola O , predočuje onda napetost u toj tački gipkog, sa istim opterećenjem P opterećenog užeta istog oblika sa užnicom. Ta se napetost može rastaviti u vertikalnu i horizontalnu komponentu / sl. 12c / : $S \doteq |V\,H|$.

Onda je $$y' = \frac{dy}{dx} = tg\varphi = \frac{V}{H} . \qquad 16.)$$

Podjemo li za Δx naprijed, dolazimo do tačke C' i analogno do napetosti užeta u toj tački S' . Kut φ je narasao za iznos $\Delta\varphi$ od tačke C do tačke C', a promjena trigonometrijske tangente tog kuta iznosi : $$\Delta tg\varphi = \Delta y' = \Delta \frac{dy}{dx} = \Delta \frac{V}{H} .$$

Ako $\Delta x \longrightarrow 0$, od diferencija nastaju diferencijali, a jer je horizontalna komponenta napetosti u svakoj tački jednako velika i jednaka polnoj visini H , mijenja se dakle samo V , gornja jednadžba poprima oblik :

$$d\,y' = d\left(\frac{dy}{dx}\right) = \frac{dV}{H}$$

ili $$H\,d\,y' = H\cdot d\left(\frac{dy}{dx}\right) = dV\,. \qquad 17.)$$

Iz vektorpoligona razabire se nadalje, da je $\Delta V = \Delta P = p\cdot\Delta x$, ili ako $\Delta x \longrightarrow 0$, $dV = p\,dx$. Gornja jednadžba poprima dakle oblik : $$H\,dy' = H\cdot d\left(\frac{dy}{dx}\right) = p\,dx \qquad 17.)$$

ili konačno, nakon divizije sa dx:

$$Hy'' = H\frac{d^2y}{dx^2} = p\,. \qquad 17a.)$$

Ova jednadžba zove se diferencijalna jednadžba užnice. -

3. Parabola kao užnica. U specijalnom slučaju p = konstans, t.j. u slučaju jednolično razdijeljenog opterećenja u horizontalnom smjeru bit će, ako jednadžbu / 17 /

$$H\,dy' = p\,dx$$

integriramo obostrano :

$$H\,y' = px + C_1 \qquad 18.)$$

$$H\,dy = px\,dx + C_1\,dx\,.$$

Nakon ponovne obostrane integracije :

$$Hy = \frac{px^2}{2} + C_1 x + C_2\,. \qquad 19.)$$

Užnica dakle poprima oblik parabole.

Integracione konstante C_1 i C_2 odredit ćemo tako, da užnica prolazi čvrstim tačkama / a i b / o koje je uže ovješeno. Lijeva tačka / a / neka je ujedno i ishodište koordinatnog sistema / $x_a = 0$, $y_a = 0$ / ; koordinate pak desne čvrste tačke / b / neka su : $x_b = l$ i $y_b = h$ / isp. sl. 12b /. Budući gornja jednadžba mora važiti i za ove obje tačke, iz prvog uvjeta izlazi :

$$H\cdot 0 = \frac{p}{2}\cdot 0 + C_1\cdot 0 + C_2\,; \quad C_2 = 0$$

a jednadžba 19.) poprima oblik :

$$Hy = \frac{px^2}{2} + C_1 x\,.$$

Iz drugog uvjeta izlazi :

$$H\cdot h = \frac{pl^2}{2} + C_1 l\,; \quad C_1 = H\frac{h}{l} - \frac{pl}{2}\,.$$

Tražena jednadžba parabole kao užnice, koja prolazi čvrstim tačkama / $x = 0$; $y = 0$ / i / $x = l$, $y = h$ / glasi dakle :

$$H y = \frac{p x^2}{2} + \left(H \frac{h}{l} - \frac{p l}{2} \right) x \,. \qquad 20.)$$

Stavimo li kratkoće radi : $\alpha = \frac{H}{p}$, 21.)

nakon sredjenja, gornja jednadžba poprima oblik :

$$y = \frac{h}{l} x - \frac{x}{2\alpha}(l - x) \qquad 22.)$$

a njezin prvi izvod glasi :

$$y' = tg\varphi = \frac{V}{H} = \frac{h}{l} - \frac{1}{\alpha}\left(\frac{l}{2} - x \right). \qquad 23.)$$

Ishodište koordinatnog sistema xy na ovaj način izražene parabole je na pr. tačka O_1 na slici 13 nacrtane parabole $O_2 O_3 O_1$ s b. Čvrste tačke, kojima užnica prolazi su : $a = O_1$ i b.

Pregib f_x na povoljnom mjestu užnice / mjeren od tetive $O_1 b$ sl.13 prema dolje / iznosi općenito :

$$f_x = \frac{h}{l} x - y = \frac{x}{2\alpha}(l - x) \qquad 24.)$$

Za $x = \frac{l}{2}$ ordinata $y_{l/2}$ mjeri / tačka C / :

$$y_{l/2} = \frac{h}{2} - \frac{l^2}{8\alpha}.$$

a pregib užnice :

$$f = \frac{h}{2} - y_{l/2} = \frac{l^2}{8\alpha}. \qquad 25.)$$

Tangenta užnice na istom mjestu / $x = \frac{l}{2}$, tačka C / je paralelna sa tetivom $O_1 b$, jer je za $y = \frac{l}{2}$ / iz 23 / : $tg\varphi_{l/2} = \frac{h}{l}$. 26.)

Tangente u tačkama O_1 i b sijeku se u raspolovnici raspona l i to $C'C'' = 2f$ duboko ispod tetive $O_1 b$.

Ako je $h = 0$, jednadžbe 22.) i 23.) prelaze u :

$$y = -\frac{x}{2\alpha}(l - x) \qquad 27.)$$

$$y' = tg\varphi = -\frac{1}{\alpha}\left(\frac{l}{2} - x \right) \qquad 28.)$$

Ishodište koordinatnog sistema xy na ovaj način izražene parabole je tačka O_2 na sl. 13 nacrtane parabole $O_2 O_3 O_1$. Čvrste tačke O_2 i O_1, kojima užnica prolazi nalaze se u istoj visini / horizontali /.

I u ovom slučaju je u polovici raspona l apsolutni iznos pregiba :

$$f = \frac{l^2}{8\alpha} \qquad 29.)$$

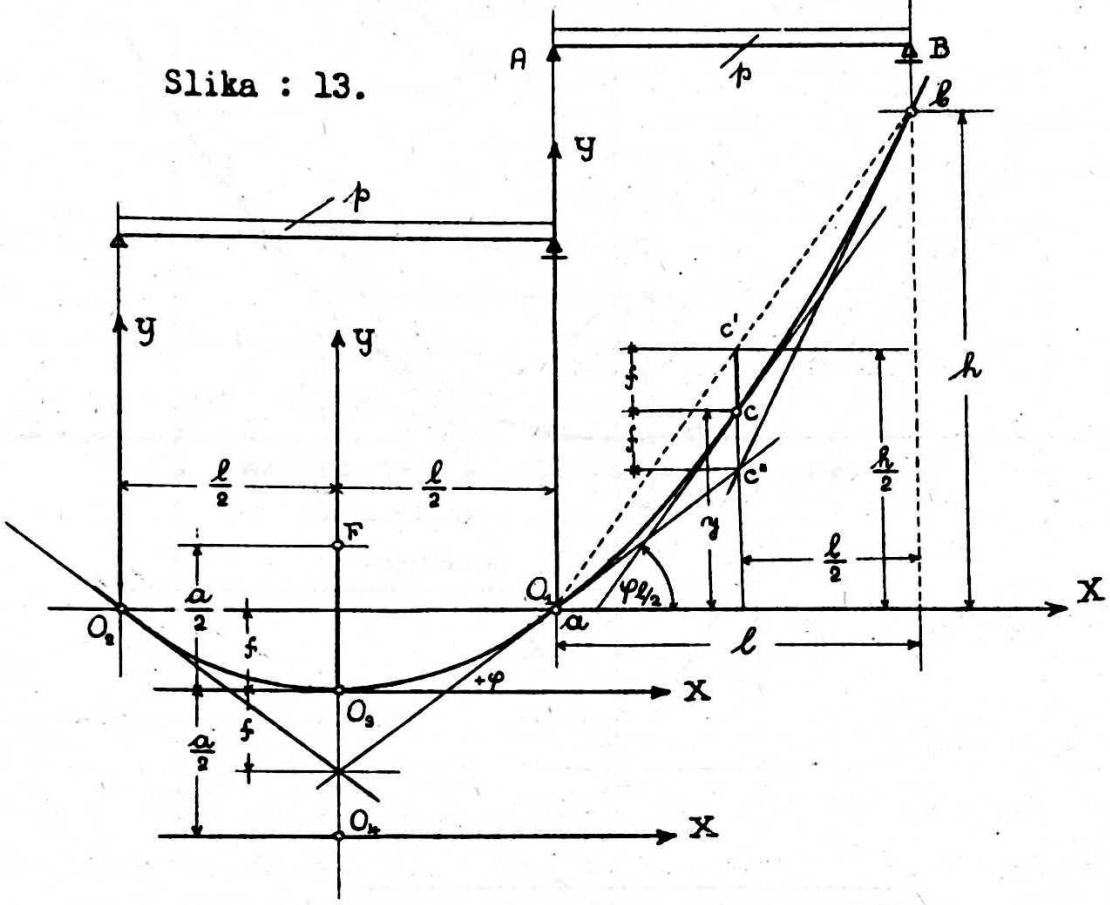
a tangenta paralelna sa tetivom $O_1 O_2$. Odatle slijedi zaključak :

Najveći pregib užnice-parabole nalazi se u vertikalnoj raspolovnici horizontalnog razmaka čvrstih tačaka / raspona l /; nezavisan je o visinskom razmaku čvrstih tačaka / h /, te mjeri :

$$f = \frac{l^2}{8a}. \qquad 29.)$$

Uz isti dakle horizontalan razmak čvrstih tačaka / l / najveći vertikalan pregib / f / jednak je svakom dijelu parabole. Isto tako u

Slika : 13.



svakom dijelu užnice-parabole tangenta čvrstih tačaka sijeku se u vertikalnoj raspolovnici raspona l i to $2f$ duboko ispod tetive.

Ako je istodobno $x=0$ i $l=0$ jednadžbe 22.) i 23.) prelaze u vršne jednadžbe parabole :

$$y = \frac{x^2}{2a}. \qquad 30.)$$

$$y' = tg\varphi = \frac{x}{a}. \qquad 31.)$$

Ishodište koordinatnog sistema xy leži u vrhu parabole / tačka O_3 sl.13 /. Ovo je najjednostavnija jednadžba parabole i najzgodnija za analizu njezinih svojstava. Iz nje izlazi dužina / sl. 14 / :

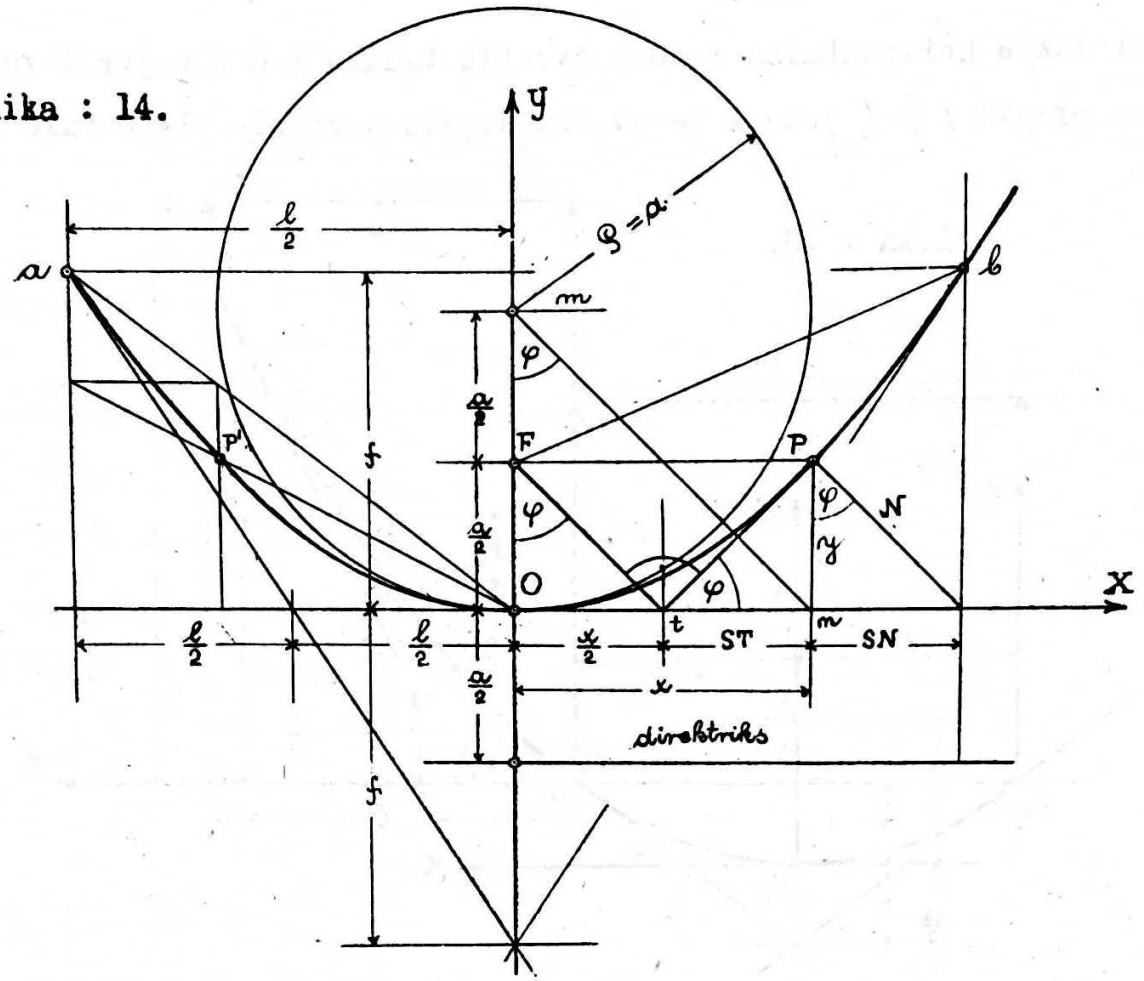
subnormale : $$SN = yy' = \frac{x^3}{2a^2} = y\sqrt{\frac{2y}{a}} = y\,tg\varphi. \qquad 32.)$$

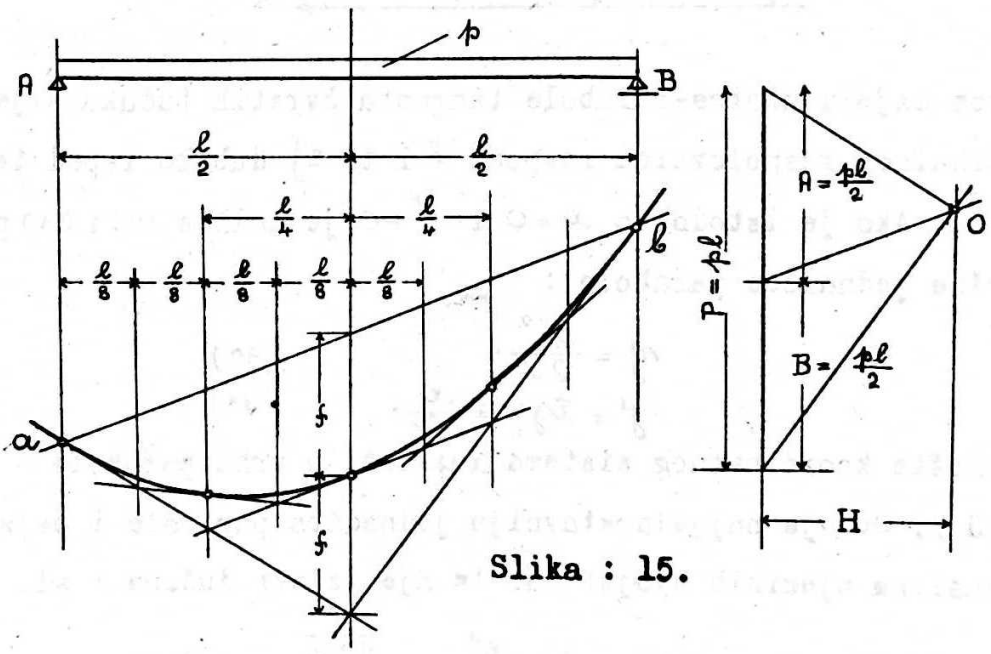
subtangente: $$ST = \frac{y}{y'} = \frac{x}{2} = y\,\mathrm{cotg}\varphi. \qquad 33.)$$

normale : $$N = y\sqrt{1+y'^2} = \left(\frac{x}{a}\right)^2\sqrt{\frac{a^2+x^2}{2}} = \sqrt{\frac{a+2y}{a}} = y\cdot\sec\varphi. \qquad 34.)$$

tangente: $$T = \frac{y}{y'}\sqrt{1+y'^2} = \frac{x}{a}\sqrt{\frac{a^2+x^2}{2}} = \sqrt{\frac{(a+2y)y}{2}} = y\cdot\mathrm{cosec}\,\varphi. \qquad 35.)$$

Slika : 14.





Slika : 15.

Tangenta u povoljnoj tačci parabole raspolavlja dakle apscisu te tačke / slijedi iz 33 /. Povučemo li pak kroz to raspolovište okomicu na tangentu, ono odredjuje fokus F i parametar parabole a / $Ft \perp tP$; $FO = \frac{1}{2}a$, sl. 14 /. Jer onda je doista, u skladu sa 31.), $\frac{x}{2} = \frac{a}{2} tg\varphi$. Budući je pak bitna oznaka parabole, da je

svaka njezina tačka jednako udaljena od fokusa / F / i od direktrise, potonja mora da teće paralelno sa osovinom X / sl. 14 /, $\frac{a}{2}$ ispod nje. Kvocijenat $\frac{H}{p}$ odredjuje dakle parametar a užnice-parabole.

Polumjer krivosti u povoljnoj tački mjeri :

$$\varrho = \frac{(1+y'^2)^{\frac{3}{2}}}{y''} = \frac{1}{a^2}\sqrt{(a^2+x^2)^3} = a\cdot\sec^3\varphi. \qquad 36.)$$

U vrhu O / $x=0$, $y=0$, sl. 14 / polumjer krivosti jednak je dakle parametru parabole a.

Dužina luka užnice s, koja prolazi čvrstim tačkama u istoj visini / $O_2 O_3 O_4$ sl. 13 /, približno, praktički ali dovoljno tačno računa se iz poznatog snošaja :

$$ds^2 = dx^2 + dy^2$$
$$ds = \sqrt{1+y'^2}\cdot dx$$

da se stavi / s upotrebom samo prvih dva člana binomskog stavka /:

$$ds = (1+\tfrac{1}{2}y'^2)dx$$

i dalje :
$$s = \int_0^l \left[1+\tfrac{1}{2}y'^2\right]dx \qquad 37.)$$

Uvrsti li se za y' vrijednost označena u jednadžbi 28.) nakon izvršene integracije izlazi :

$$s = l + \frac{l^3}{24a^2} \qquad 38.)$$

ili, uzme li se u obzir, da je

$$\frac{l^3}{24a^2} = \frac{8}{3}\left(\frac{l^2}{8a}\right)^2\cdot\frac{1}{l} = \frac{8}{3}\frac{f^2}{l} \qquad \text{/ isp. jedn. 29. /}$$

$$s = l + \frac{8}{3}\frac{f^2}{l}. \qquad 39.)$$

Dužina luka užnice s , koja prolazi čvrstim tačkama u raznim visinama / $O_1 c b$, sl. 13 / izlazi analogno iz jednadžbe 37.), ako se u nju uvrsti vrijednost za y' iz jedn. 23.), pa izvrši integracija:

$$s = l + \frac{1}{2}\frac{h^2}{l} + \frac{l^3}{24a^2} \qquad 40.)$$

ili
$$s = l + \frac{1}{2}\frac{h^2}{l} + \frac{8}{3}\frac{f^2}{l} \qquad 41.)$$

Konstrukcija parabole zadanog parametra a izlazi iz činjenice, da tangenta u povoljnoj njezinoj tački $P(x,y)$ / sl. 14 desno / siječe X osovinu $\frac{x}{2}$ daleko od ishodišta / O /, a stoji okomito na pravcu mn, koji siječe istu osovinu u udaljenosti x, a y osovinu u udaljenosti a od ishodišta.

Konstrukcija parabole zadanog raspona l i najvećeg pregiba f , koja prolazi čvrstim tačkama a i b u istoj visini predočena je na sl. 14, lijevo. To je poznata konstrukcija linije momenata prostoga nosača za jednolično razdijeljeno opterećenje p .
Konstrukcija parabole zadanog horizontalnog raspona l i najvećeg pregiba f , koja prolazi čvrstim tačkama a i b u raznim visinama izvršuje se najzgodnije s pomoću tangenata, budući se one raspolavljaju, na način predočen na slici 15.

4. Primjer i nadopuna. Uporišta prvog polja njeke žičare od utovarne stanice do prvog stupa, udaljena su u horizontalnom razmaku $l = 309,5$ m te u visinskom razmaku $h = 101,88$ m . Kao nosač služi otvoreno spiralno uže : promjera $d = 34$ mm, sukano od 37 žica promjera $\delta = 4,8$ mm, čvrstoće potezanja $\sigma_B = 145$ kg/mm^2 i težine $g = 5,7$ kg/m . Horizontalan napon, kojim je uže razapeto mjeri $H = 24^t$. U razmaku od 480 m gibaju se po ovom užetu kolica žičare, opterećena teretom kako slijedi :

vlastita težina jednih visećih kolica	175 kg ;
na takova kolica ovješeno pogonsko uže cca 240 m dugo, a 0,74 kg/m teško,	
ukupno dakle $240 \times 0,74 =$	178 kg ;
korisni teret / 1 šumski metar drva teži cca 600 kg /, ovješen na dvoja kolica	900 kg ;

Budući koristan teret leži na dvjema kolicima, u neznatnom razmaku prema dužini raspona, ukupni teret jednog takvog voza smatramo koncentričnim teretom ukupne težine :

$$P = 2(175+178) + 900 = 1606 \sim 1,6^t .$$

O čvrste tačke a i b ovješeno uže teži ukupno $G = gs$ kg, ako s označuje dužinu užeta u metrima. Dužina s je ali nepoznata, jer se radi baš o tome, da odredimo oblik, koji će poprimiti uže uz gore zadane podatke. Praktički dovoljno tačno stavlja se $s \sim t$, jer dužina jako napetog užeta / ato je slučaj kod žičara / malo odmiče od dužine tetive t , spojnice obiju čvrstih tačaka a i b / isp. sl. 16 /. Jednolično razdijeljeno opterećenje p prostoga

nosača, raspona l , ako dužina tetive mjeri :

$$t = \sqrt{l^2 + h^2} = \sqrt{309,5^2 + 101,88^2} = 325,84\ m$$

izlazi ona iz snošaja : $pl = gt$

ili : $$p = g\frac{t}{l} = g \cdot \sec\alpha \qquad 42.)$$

$$p = 5,7 \cdot \frac{325,84}{309,5} = 6\ kg/m$$

Uz jednoličnо razdijeljeno opterećenje p , uže poprima oblik užnice-parabole, parametra / iz 21. / :

$$a_g = \frac{H}{p} = \frac{24000}{6} = 4000\ m .$$

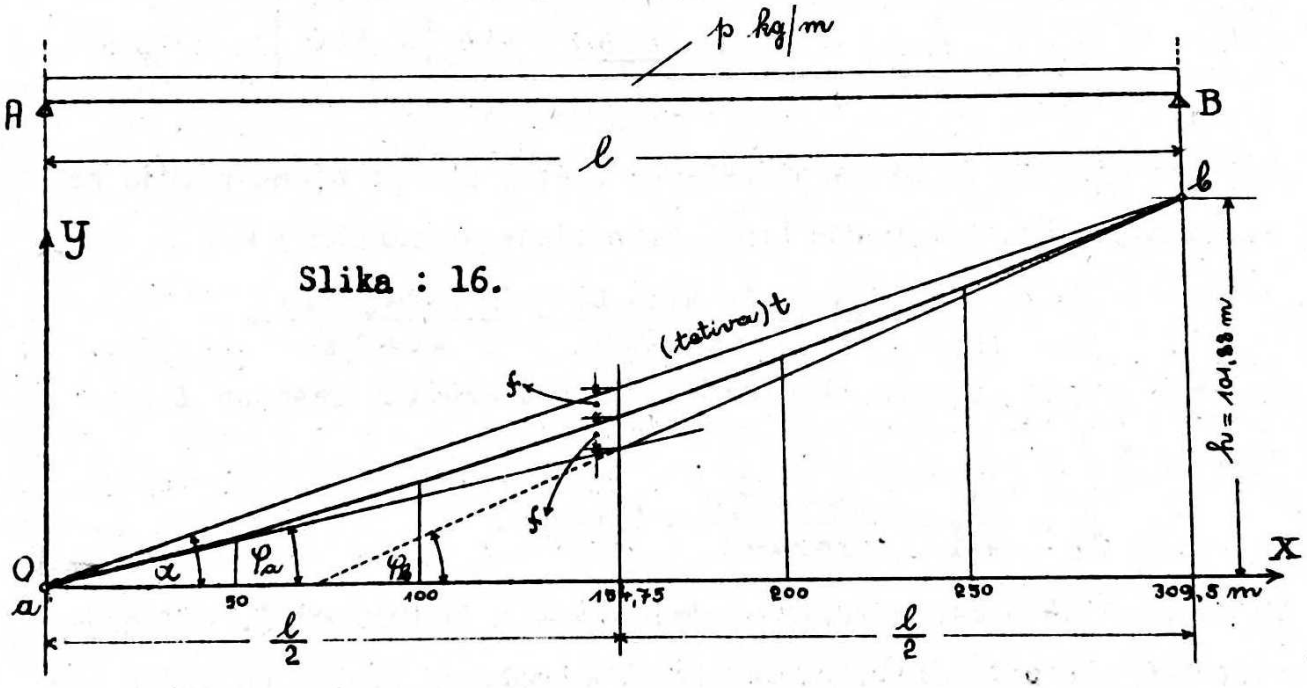
Ako je $tg\alpha = \frac{h}{l} = \frac{101,88}{309,5} = 0,32918$,

ordinate te krivulje računaju se iz jednadžbe / 22. / :

$$y_g = 0,32918\,x \sim (\frac{309,5 - x}{8000})x ,$$

a pregibi iz jednadžbe / 24 / :

$$f_{gx} = \frac{(309,5 - x)x}{8000} .$$



Slika : 16.

Najveći pregib nalazi se u sredini raspona l te mjeri / iz 25 / :

$$f_g = \frac{309,5^2}{8 \times 4000} = 2,99\ m$$

Ordinate i pregibi, za još druge njeke vrijednosti apscise x , pregledno su iskazane u tablici 1.

Dužina užnice s mjeri pak, slijedi iz jedn. 41. /:

$$s = 309,5 + \frac{1}{2}\frac{101,88^2}{309,5} + \frac{8}{3}\frac{2,99^2}{309,5}$$

$$s = 309,5 + 16,768 + 0,077 = 326,35\ m .$$

Razlika izmedju tetive i dužine luka iznosi :

$$s - t = 326,35 - 325,84 = 0,51\ m.$$

Tetiva je dakle samo za 0,156 ‰ kraća od užnice. Praktički smo dakle postupali dovoljno tačno, kad smo na početku računa kalkulirali težinu užeta G s pomoću tetive.

Tablici 1.

$x =$	50	100	154,75	200	250
$y_g =$	14,84	30,30	47,95	63,10	80,44
$f_{g_x} =$	1,62	2,62	2,99	2,74	1,86
$y_p =$	13,66	28,41	45,78	61,12	79,09
$f_{p_x} =$	2,80	4,51	5,16	4,72	3,20
$y_q =$	14,84	30,30	47,95	63,10	80,44
$f_{q_x} =$	4,42	7,13	8,15	7,46	5,06

Najveće pregibe inače neopterećenog užeta, ako po njemu putuje samo koncentričan teret $P = 1,6^t$, odredjuje jednadžba / 2. / :

$$f_{px} = \frac{Px}{Hl}(l-x) = \frac{1,6\,x(l-x)}{24 \times 309,5} = \frac{x(309,5-x)}{4642,5}.$$

Najveći pregib nastupa, kad se P nalazi u sredini raspona l, te mjeri / 3 / :

$$f_p = \frac{Pl}{4H} = \frac{1,6 \times 309,5}{4 \times 24} = 5,16\ m.$$

Na drugim još mjestima vidi vrijednost f_{px} u tablici 1. Ovi najveći pregibi pod putujućim teretom P odredjuju liniju najvećih pregiba inače neopterećenog užeta.

Jednadžba ove linije pak obzirom na koordinatni sistem $x\,y$, kojega ishodište leži u čvrstoj tački a/ sl. 16 /, svrsi shodno izvodi se na ovaj način. Jednoliko razdijeljeno opterećenje p' proizvesti će iste pregibe sa koncentričnim teretom P, ako je odredjeno tako, da je / isp. 24./ :

$$\frac{p'x}{2H}(l-x) = \frac{Px}{Hl}(l-x).$$

Ako se dakle stavi :

$$p' = \frac{2P}{l} \quad \text{i} \quad a_p = \frac{H}{p'} \qquad 43.)$$

jednadžba krivulje najvećih pregiba, u rečenom koordinatnom sistemu, glasi analogno sa jedn. 22.):

$$y_p = \frac{h}{l}x - \frac{x}{2a_p}(l-x) \qquad 43a.)$$

a njezin prvi izvod :

$$y'_p = tg\varphi_p = \frac{h}{l} - \frac{1}{a_p}\left(\frac{l}{2} - x\right) = tg\alpha - \frac{1}{a_p}\left(\frac{l}{2} - x\right). \qquad 44.)$$

Nagib tangenata te krivulje, prema horizontali y , bit će dakle odredjen u čvrstoj tačci :

$$\left.\begin{array}{ll} a\,, & \text{za } x = 0, \text{ sa } tg\varphi_{pa} = tg\alpha - \frac{l}{2a_p} \\ b\,, & \text{za } x = l, \text{ sa } tg\varphi_{pb} = tg\alpha + \frac{l}{2a_p} \end{array}\right\} \qquad 45.)$$

U našem slučaju je

$$p' = \frac{2 \cdot 1600}{309,5} = 10,339 \; kg/m \; ;$$

$$a_p = \frac{24000}{10,339} = 2321,3 m \; ; \quad y_p = 0,32918x - \frac{x(309,5-x)}{4642,5} \; ;$$

kontrola : $y_p = 0,32918x - f_{px}$.

Brojčane vrijednosti za y_p vidi u tablici 1.

Nadalje je :

$$\frac{l}{2a_p} = \frac{309,5}{4642,5} = 0,06666$$

$$tg\varphi_{pa} = 0,32918 - 0,06667 = 0,26251$$

$$tg\varphi_{pb} = 0,32918 + 0,06667 = 0,39585 \; .$$

Dok putuje teret P, uistinu djeluje na uže vlastita težina istodobno. Stavimo li dakle :

$$q = p + p' \quad \text{i} \quad a_q = \frac{H}{q} \qquad 46.)$$

za svaki položaj tereta P , pregib užeta zbog tog tereta i vlastite težine odredjuje onda jednadžba / 24 / :

$$f_{q,x} = \frac{x}{2a_q}(l-x) \qquad 47.)$$

Jednadžba krivulje najvećih pregiba za istodobno opterećenje P i p u koordinatnom sistemu xy , sl. 16, glasi dakle / 22 / :

$$y_q = \frac{h}{l}x - \frac{x}{2a_q}(l-x). \qquad 48.)$$

Njezin je prvi izvod / nagib tangenta krivulje prema osovini x / :

$$y'_q = tg\varphi_q = \frac{h}{l} - \frac{1}{a_q}\left(\frac{l}{2} - x\right) = tg\alpha - \frac{1}{a_q}\left(\frac{l}{2} - x\right) \qquad 49.)$$

U čvrstim tačkama a i b je / analogno sa formulama 45 / :

$$\left.\begin{aligned} tg\varphi_{q_a} &= tg\alpha - \frac{l}{2a_q} \\ tg\varphi_{q_b} &= tg\alpha + \frac{l}{2a_q} \end{aligned}\right\} \qquad 50.)$$

U našem je dakle slučaju :

$$q = 6,0 + 10,339 = 16,339 \ kg/m \ ;$$

$$a_q = \frac{24000}{16339} = 1468,9 \ m \ ;$$

$$f_{qx} = \frac{x(309,5 - x)}{2937,7} \ ;$$

$$y_q = 0,32918\,x - f_{qx} \ ;$$

$$\frac{l}{2a_q} = \frac{309,5}{2937,7} = 0,10535 \ ;$$

$$tg\varphi_{q_a} = 0,32918 - 0,10535 = 0,22383 \ ;$$

$$tg\varphi_{q_b} = 0,32918 + 0,10595 = 0,43453 \ .$$

Vrijednosti za f_{qx} i y_q vidi u tablici 1.

Na slici 16 predočena je samo krivulja najvećih pregiba f_q . Ta se obično crta u osnovama žičara, jer je za sigurnost prometa na tlu i na žici najvažnija. No i ta krivulja relativno ne odmiče mnogo od tetive.

Linija najvećih pregiba zbog vlastite težine / g / i prometnog opterećenja / P / dobije se dakle, da se odredi pregib neteškog užeta za jedno / f_{qx} / i drugo / f_{px} / opterećenje zasebno, pa oba sumiraju / $f_{qx} = f_{gx} + f_{px}$ /. U ovom slučaju važi dakle zakon superpozicije takodjer.

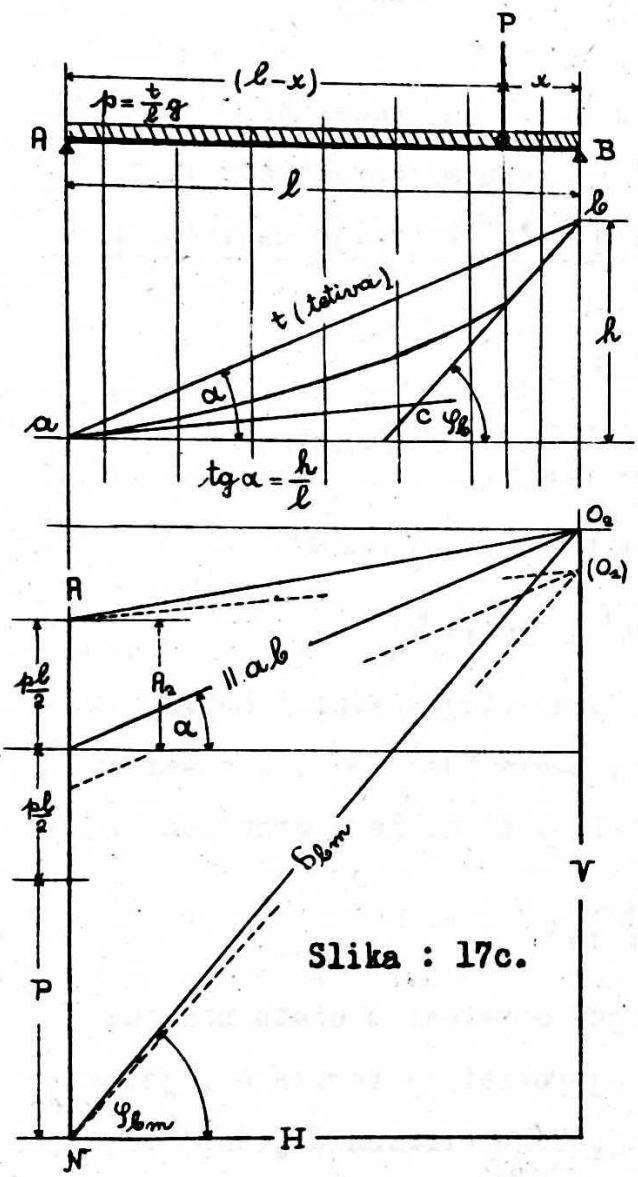
Do najveće napetosti u užetu dolazimo na ovaj način. Na slici 17a nacrtali smo krivulju najvećih pregiba za uže opterećeno istodobno sa vlastitom težinom / g / i pokretnim koncentričnim teretom / P / u povoljnoj udaljenosti x od desne čvrste tačke / b /. Na slici 17b

nacrtali smo vektorpoligon / AN / prostoga nosača / AB = l / opterećenog sa odgovarajućim opterećenjem / $p = \frac{t}{l}g$, P /. Veličinu lijeve uporišne reakcije odredili smo računskim putem iz jednadžbe:

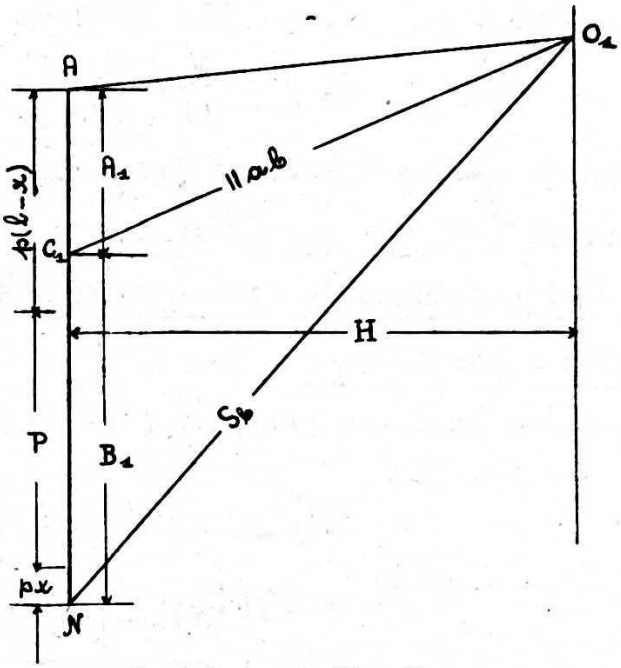
$$A_1 = \frac{pl}{2} + \frac{P.x}{l}$$

Dužina AC_1 predočuje tu reakciju u vektorpoligonu. Na paraleli / C_1O_1 /,

Slika : 17a.



Slika : 17b.



Slika : 17c.

povučenoj iz tačke C_1 sa spojnicom čvrstih tačaka / $ab = t$ /, leži onda u zadanoj udaljenosti H pol O_1 s pomoću kojega je nacrtana rečena linija najvećih pregiba. Svaka polarna zraka predočuje napetost užeta u tački, u kojoj je tangenta linije pregiba paralelna sa zrakom. U gornjoj čvrstoj tački / b / bit će dakle napetost užeta najveća / S_b /. Putuje li ali teret P sve bliže prema tački b, reakcija A biva sve manja, pol se diže sve više, a napetost S_b biva sve veća / sl. 17c /. U slučaju kad $x \longrightarrow 0$, lijeva uporišna reakcija $A \longrightarrow \frac{pl}{2}$, a vektorpoligon sa polarnim zrakama teži k obliku, nacrtanom na slici 17c. Iz te slike izlazi za najveću napetost užeta S_{bm} ako ju rastavimo na komponenta V i H :

$$S_{bm}^2 = V^2 + H^2,$$

pak nadalje / sl. 17c / :

$$V = H\,tg\alpha + \frac{pl}{2} + P$$

ili ako se stavi / isp. 42 /

$$P = \frac{p'l}{2},$$

pa jer je $q = p + p'$ i $a_q = \frac{H}{q}$ / isp. 46 /,

konačno :

$$\left.\begin{aligned} V &= H\,tg\alpha + \frac{q\,l}{2} \\ tg\varphi_{bm} &= \frac{V}{H} = tg\alpha + \frac{l}{2a_q} \end{aligned}\right\} \quad 51.)$$

Ova jednadžba identična je sa drugom od obiju jednadžbi 50.). Odatle izlazi : Najveća napetost nalazi se u užetu uz gornju čvrstu tačku (b) i paralelna je sa tangentom u toj tački krivulje najvećih pregiba uopće / 48 /.

U našem je dakle primjeru / sl.16 / :

$$tg\varphi_{bm} = 0,32918 + \frac{309,5}{2 \times 1468,9} = 0,43453$$

$$V = H\,tg\varphi_{bm} = 24 \times 0,43453 = 10,429^t$$

$$S_{bm} = \sqrt{10,429^2 + 24^2} = 26,17^t.$$

Kad bi obje čvrste tačke a i b ležale u istoj visini / horizontali /, najmanja napetost u užetu mjerila bi $S_{min} = H = 24^t$. U našem primjeru napetost u povoljnoj tački užeta leži dakle u granicama :

$$H < S < S_{bm}$$
$$24^t < S < 26,17^t$$

Maksimalan iznos od $26,17^t$ ne postigne napetost u užetu uistinu takodjer, ni uz najpovoljniji položaj pokretnog tereta P, jedno zbog toga, što taj teret uistinu nije koncentrisan u jednoj tački, drugo zbog toga, što ni čvrsti ležaj uistinu nije samo matematska tačka b.

Najveće naprezanje u užetu računa se pak ovako :

Metalan prosjek našeg užeta mjeri : $F_m = 37 \times \frac{0,48^2 \cdot \pi}{4} = 6,69\,cm^2$.

Maksimalno naprezanje potezanja :

$$\sigma_m = \frac{S_{bm}}{F_m} = \frac{26,170}{6,69} = 3912\ kg/cm^2$$

Pokretan teret $P = 1,6^t$ giba se po užetu s pomoću dvoja kolica, svaka sa po dva točka. Pritisak jednog točka iznosi dakle :

$$Q = \frac{1}{4} \cdot 1{,}6^t = 0{,}4^t = 400\ kg$$

Uz modul elastičnosti E = 2,150.000 kg/cm^2 , naprezanje pregibanja mjeri / formula 10.), str.235 / :

$$\sigma_p = \frac{Q}{F_m} \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_m}} = \frac{400}{6{,}69} \sqrt{\frac{2{,}15000}{3912}} = 1400\ kg/cm^2,$$

a ukupno naprezanje $\sigma = \sigma_m + \sigma_p = 3912 + 1400 = 5312\ kg/cm^2$.

Napetost u zadanom užetu na granici čvrstoće iznosi / isp. tabl.4, str. 223 / $S_B = 97{,}12^t$. Uže je dakle razapeto sa sigurnošću :

$$s = \frac{S_B}{S_{\delta m}} = \frac{97{,}12^t}{26{,}17^t} = 3{,}7 .$$

Čvrstoća materijala užeta zadana je sa $\sigma_B = 14500$ kg/cm^2 . Koeficijenat sigurnosti naprezanja u užetu mjeri dakle :

$$s' = \frac{\sigma_B}{\sigma} = \frac{14500}{5312} = 2{,}7 .$$

Krivulja, oblik koje poprima prazno uže, ovješeno o dvije čvrste tačke, a opterećeno samo sa vlastitom težinom, zove se u stručnoj literaturi prazna užnica / die Leerseillinie /, a krivulja najvećih pregiba, zbog vlastite težine užeta i pokretnog opterećenja zajedno, puna užnica / Vollseillinie /. Parametar prazne užnice u ovom primjeru bio je na pr.

$$a_g = \frac{H}{p} = \frac{24000}{6} = 4000\ m$$

a pune,

$$a_q = \frac{H}{q} = \frac{24000}{16{,}339} = 1468{,}9\ m .$$

Pri tom označuje :

$$p = g \cdot \sec\alpha = p\frac{t}{l}$$

$$p' = \frac{2P}{l} \quad \ldots\ldots\ldots \text{/ isp. 42 /}$$

$$q = p + p' \quad \ldots\ldots\ldots \text{/ isp. 46 /}$$

Nazvali smo napetost u užetu na granici čvrstoće sa S_B i našli, da je $S_B = R \cdot g$, ako R označuje dužinu kidanja užeta :

$$R = \frac{10\sigma_B}{\gamma \cdot \xi} . \qquad \text{/ isp. i str. 221 /.}$$

U našem primjeru je na pr.

$$R = \frac{S_B}{g} = \frac{97120}{5{,}7} = 17038{,}6\ m ,$$

t.j. to je dužina, uz koju bi se vertikalno ovješeno naše uže prekinulo zbog vlastite težine. Horizontalan napon, s kojim je uže

napeto može se izraziti i ovako :

$$H = \frac{S_B}{s} = \frac{\mathcal{R}g}{s} \; ; \quad \frac{H}{g} = \frac{\mathcal{R}}{s} \qquad 52.)$$

Koeficijenat $s = \frac{S_B}{H}$ je dakle njeka mjera sigurnosti, s kojom je uže napeto. Jednadžba parametra prazne užnice poprima onda oblik :

$$a_g = \frac{H}{p} = \frac{H}{g \cdot \sec\alpha} = \frac{\mathcal{R}}{s} \cdot \cos\alpha \qquad 53.)$$

ili ako je $\alpha = 0$ / čvrste tačke u istoj visini / :

$$a_g = \frac{\mathcal{R}}{s} \qquad 54.)$$

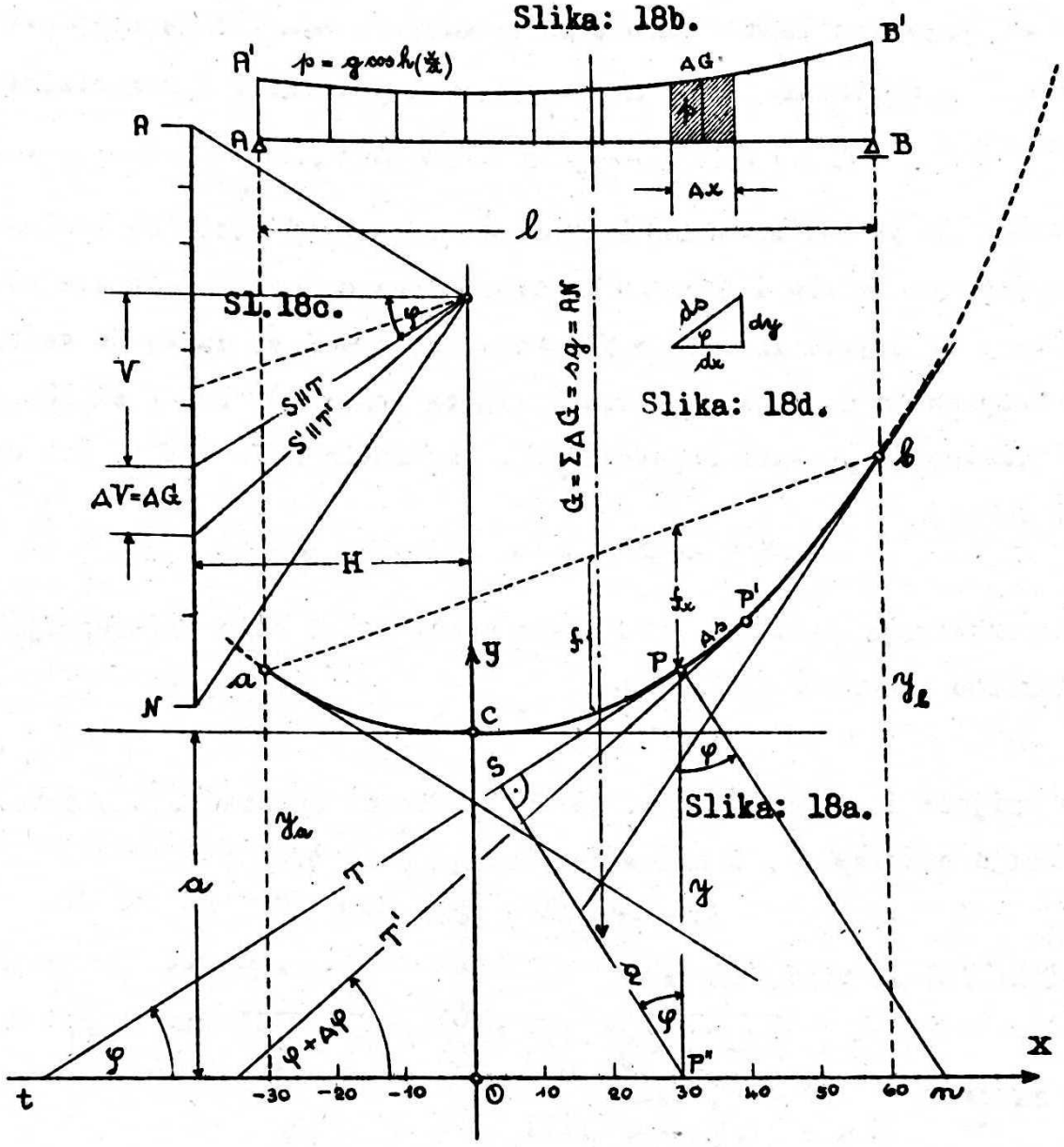
S drugim riječima : Užnica svih užeta iste dužine kidanja / $\mathcal{R}$ / , ovješenih o iste čvrste tačke, uz istu sigurnost / s /, ima isti oblik. Jer parametar prazne užnice nezavisan je o prosjeku / promjeru / užeta, a zavisi tek o dužini kidanja užeta, o nagibu spojnice čvrstih tačaka prema horizontali i o koeficijentu sigurnosti. Budući je pak dužina kidanja $\mathcal{R}$ ista kod svih užeta sukanih na jednaki način / ξ / sa žicama istog metala / σ_B , γ / , to se ta okolnost iskorišćuje kod osnivanja žičara, te se prazna užnica projektira samo s pomoću dužine kidanja $\mathcal{R}$. Promjer ili prosjek užeta odredjuje se onda naknadno već prema pokretnom opterećenju, koje dolazi u obzir. Ako je ovo tek jedan koncentričan teret u istom polju, parametar pune užnice mjeri :

$$a_q = a_g \cdot \frac{p}{q} \qquad 55.)$$

Pretpostavili smo u našem primjeru, da je horizontalan napon prazne i pune užnice isti. Kad i uz koje prilike može se tako pretpostaviti, o tom se govori poslije.

5. Lančanica . O dvije povoljne čvrste tačke / a i b sl.18a/ ovješeno prazno žično uže uistinu nije jednolično opterećeno sa vlastitom težinom u horizontalnom smjeru, kako smo pretpostavili u prijašnjoj tački, nego u smjeru luka. u kojem je razapeto medju tim tačkama. Smatramo li taj luk, koji takodjer uistinu nije parabola, linijom momenata prostog nosača AB , istog horizontalnog raspona l , odgovarajuća intenzivnost opterećenja ne može biti konstantna, nego promjenljiva, ona je njeka funkcija dužine luka $p = f(s)$. Površina opterećenja s gornje strane prostoga nosača

Slika: 18b.



uistinu dakle nije pravac, nego krivulja / A'B' sl. 18b /. Na Δx elemenat nosača otpada opterećenje : $\Delta G = p \cdot \Delta x$. Odgovara li pak elementu Δx dužina luka Δs , a uže teži g kg/m, mora biti :

$$p \cdot \Delta x = g \cdot \Delta s = \Delta G \quad .$$

Nadalje moraju postojati još i ovi snošaji :

Razdijelimo li površinu opterećenja u lamele podjednakih širina Δx, predočimo li površine tih lamela vektorima, a ove složimo u vektor-poligon / AN sl. 18c /, pa s pomoću pola O , polne visine H , konstruišemo verižni poligon, ovaj mora da tangira luk užeta, razapetog istim horizontalnim naponom H . U slučaju kad $\Delta x \longrightarrow 0$, dakle, kad je

$$p \cdot dx = g \cdot ds = dG \quad , \qquad 56.)$$

verižni poligon pokriva se tačno sa lukom. Sa tangentom luka T pa-

ralelno povučena zraka S daje onda napetost <u>užeta</u> u tačci P i analogno sa tangentom luka T' paralelno povučena zraka S' daje napetost u tačoi P' . Rastavimo li te napetosti u vertikalne i horizontalne komponente $S \doteq |V, H|$ $S' \doteq |V+\Delta V, H|$

to vidimo, da je horizontalna komponenta napetosti užeta na svakom mjestu jednako velika i jednaka horizontalnom naponu H / to slijedi uostalom i iz uvjeta ravnoteže $\Sigma S\cos\varphi = 0$/, nadalje, da se je vertikalna komponenta napetosti S' promjenila za iznos $\Delta V = \Delta G$ / sl.18c / prema takovoj komponenti napetosti S . Ako dakle $\Delta x \longrightarrow 0$, bit će u vezi sa 56.):

$$dV = dG = g\,ds \qquad 57.)$$

U svrhu izvedenja jednažbe luka užeta upotrijebit ćemo diferencijalnu jednadžbu općenite užnice 17a:

$$H y'' = p$$

jer ta vrijedi i u slučaju, kad je intenzivnost opterećenja p povoljna funkcija apscise x . U našem je slučaju / iz 56 / :

$$p = g \cdot \frac{ds}{dx} , \qquad 58.)$$

a iz slike 18d se vidi, da je

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2} \quad \text{ili} \quad \frac{ds}{dx} = \sqrt{1 + y'^2} \qquad 59.)$$

dakle, da je :

$$H y'' = g\sqrt{1+y'^2} \quad \text{ili}$$

$$H\,dy' = g\sqrt{1+y'^2}\,dx .$$

Iz ove diferencijalne jednadžbe odredjujemo najprije y' integracijom:

$$H\int \frac{dy'}{\sqrt{1+y'^2}} = g\int dx + C_1$$

$$H \ln\left(y' + \sqrt{1+y'^2}\right) = gx + C_1$$

$$\ln\left(y' + \sqrt{1+y'^2}\right) = \frac{gx + C_1}{H}$$

Ako stavimo analogno, kao kod parabole-užnice :

$$\left.\begin{aligned} a &= \frac{H}{g} \\ x_a &= \frac{C_1}{g} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots 60.)$$

pa još

bit će

$$\ln\left(y' + \sqrt{1+y'^2}\right) = \frac{x + x_a}{a}$$

ili

$$y' + \sqrt{1+y'^2} = e^{\frac{x+x_a}{a}} \qquad 61.)$$

Obostranim kvadriranjem izlazi iz ove jednadžbe :

$$y' = \frac{1}{2}\left[e^{\frac{x+x_a}{a}} - e^{-\frac{x+x_a}{a}}\right] = \sinh\left(\frac{x+x_a}{a}\right). \qquad 62.)$$

Dakle je : $$dy = \frac{1}{2}\left[e^{\frac{x+x_a}{a}} - e^{-\frac{x+x_a}{a}}\right] dx .$$

Integrira li se opet ova jednadžba obostrano :

$$\int dy = \frac{1}{2}\left[e^{\frac{x_a}{a}} \int e^{\frac{x}{a}} . dx - e^{-\frac{x_a}{a}} \int e^{-\frac{x}{a}} . dx\right] + C_2$$

izlazi

$$y = \frac{a}{2}\left[e^{\frac{x+x_a}{a}} + e^{-\frac{x+x_a}{a}}\right] + C_2 = a\cosh\left(\frac{x+x_a}{a}\right) + C_2 . \qquad 63.)$$

U ovim jednadžbama $\sinh$ i $\cosh$ označuju hiperboličnu funkciju argumenta $\frac{x+x_a}{a}$. Najjednostavniji oblik poprimaju ove jednadžbe, ako se integracione konstante odrede na ovaj način :

Za $x = 0$, neka je $y' = 0$; onda izlazi iz 61.) :

$1 = e^{\frac{x_a}{a}}$, što je jedino moguće, ako je $x_a = 0$.

Jednadžba 63.) prelazi pak u oblik :

$$y = a \cdot \cosh\left(\frac{x}{a}\right) + C_2$$

Nadalje, ako je za $x = 0$ istodobno još i $y = a$, iz posljednje jednadžbe izlazi $C_2 = 0$. Traženu krivulju predočuje u najjednostavnijem obliku dakle jednadžba :

$$y = a \cdot \cosh\left(\frac{x}{a}\right) = \frac{a}{2}\left[e^{\frac{x}{a}} + e^{-\frac{x}{a}}\right], \qquad 64.)$$

a jednadžbe 61.) i 62.) prelaze u oblik :

$$y' + \sqrt{1 + y'^2} = e^{\frac{x}{a}} . \qquad 65.)$$

$$y' = \sinh\left(\frac{x}{a}\right) = \frac{1}{2}\left[e^{\frac{x}{a}} - e^{-\frac{x}{a}}\right] = \operatorname{tg}\varphi \qquad 66.)$$

Ova krivulja / 64 / poznata je pod imenom <u>lančanice</u> / Die Kettenlinie / u stručnoj literaturi. Osovina y je ujedno i osovina simetrije lančanice. Budući je $y' = \operatorname{tg}\varphi$, ako φ označuje kut priklona tangente krivulje prema osovini x , to ta osovina teče paralelno sa tangentom u najnižoj tački lančanice / vrh C sl. 18 /, $a = \frac{H}{g}$ daleko ispod nje.

Za intenzivnost opterećenja p odgovarajućeg prostog nosača izlazi najprije / iz 58.) i 59.)/ :

$$p = g\sqrt{1+y'^2} = \frac{g}{\cos\varphi}$$

a onda obzirom na jednadžbu 66.):

$$p = g\sqrt{1+\sinh^2\left(\frac{x}{a}\right)} = g\cosh\left(\frac{x}{a}\right) \qquad 67.)$$

Dakle je površina opterećenja omedjašena s gornje strane takodjer sa lančanicom parametra g.-

Ostala još karakteristična svojstva lančanice su ova :

Iz snošaja : $\cosh^2\left(\frac{x}{a}\right) - \sinh^2\left(\frac{x}{a}\right) = 1$

koji obzirom na 64.) i 66) prelazi u oblik :

$$\left(\frac{y}{a}\right)^2 - y'^2 = 1 \qquad 68.)$$

izlazi najprije :

$$y' = \operatorname{tg}\varphi = \sqrt{\left(\frac{y}{a}\right)^2 - 1}$$

dakle :

$$\sec\varphi = \sqrt{1+\operatorname{tg}^2\varphi} = \frac{y}{a} = \cosh\left(\frac{x}{a}\right) \qquad 68a.)$$

$$\cos\varphi = \frac{\sqrt{1+\operatorname{tg}^2\varphi}}{\operatorname{tg}\varphi} = \frac{y}{a}\,\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{y}{a}\right)^2-1}}$$

a onda / isp. sl. 18a / dužina :

$$\begin{aligned} &\text{subnormale} : && P''_n = y\cdot\operatorname{tg}\varphi\,, \\ &\text{subtangente} : && P''_t = y\cdot\operatorname{ctg}\varphi\,, \\ &\text{normale} : && P_n = y\cdot\sec\varphi\,, \\ &\text{tangente} : && P_t = y\cdot\operatorname{cosec}\varphi\,. \end{aligned} \qquad 69.)$$

Dužinu luka lančanice izvodimo iz jednadžbe 56.):

$$ds = \frac{p}{g}\,dx$$

koja s obzirom na jednadžbu 67.) prelazi u oblik

$$ds = \cosh\left(\frac{x}{a}\right)\,dx$$

Obostranim integriranjem ove jednadžbe izlazi :

$$s = a\cdot\sinh\left(\frac{x}{a}\right) + C\,.$$

Treba li da je za $x = 0$ ujedno i $s = 0$, onda mora biti i $C = 0$.

Od vrha / C sl. 18a / mjerena dužina lančanice na jednu ili drugu stranu mjeri dakle :

$$s = a\cdot\sinh\left(\frac{x}{a}\right)\,. \qquad 70.)$$

Obzirom ne jednadžbu 66.) i 68.) može se ta jedn. pisati još i ovako :

$$s = a \cdot tg\varphi = \sqrt{y^2 - a^2} \quad . \qquad 70a.)$$

Dakle je s kateta pravokutnog trokuta, hipotenuze y i druge katete a/ $s = \overset{\frown}{CP} = SP$ u pravokutnom trokutu $PP''S$ sl. 18a /. Okomica, spuštena iz projekcije P'' povoljne tačke P lančanice na tangentu u toj tačci, siječe na tangenti dužinu luka $SP = \overset{\frown}{CP}$. Ta okomica jednaka je parametru a u svakoj tačci lančanice.

Polumjer krivosti ϱ u povoljnoj tačci lančanice izlazi iz poznatog snošaja:

$$\varrho = \frac{(1 + y'^2)^{\frac{3}{2}}}{y''}$$

ako se uzme u obzir najprije jednadžba 17a,

$$\varrho = \frac{(1 + y'^2)^{\frac{3}{2}}}{p/H}$$

zatim jednadžba 67.) :

$$\varrho = \frac{H}{g} \cdot \frac{(1 + y'^2)^{\frac{3}{2}}}{(1 + y'^2)^{\frac{1}{2}}} = a(1 + y'^2)$$

pa konačno jednažba 68.) i 68a.)sa :

$$\varrho = a \cdot \left(\frac{y}{a}\right)^2 = \frac{y^2}{a} = a \cdot sec^2\varphi = a \cdot \cosh^2\left(\frac{x}{a}\right) . \quad 71.)$$

U vrhu lančanice / $x = 0$, $y = a$ / polumjer krivosti mjeri dakle:

$$\varrho_0 = a \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 72.)$$

6. Primjer i nadopuna. Na slici 18 konstruirana je lančanica na temelju ovih podataka :

$$g = 4\,kg/m \; ; \; H = 200\,kg \; ; \; a = \frac{H}{g} = \frac{200}{4} = 50\,m .$$

Pomoću jednadžbe 64.)

$$y = 50 \cdot \cosh\left(\frac{x}{50}\right) = 50 \cdot \frac{1}{2}\left[e^{\frac{x}{50}} + e^{-\frac{x}{50}}\right]$$

izračunate su najprije ordinate krivulje kako slijedi / tabl. 2 /:

x	$\frac{x}{a}$	$e^{\frac{x}{a}}$	$e^{-\frac{x}{a}}$	$e^{\frac{x}{a}} + e^{-\frac{x}{a}}$	$\frac{1}{2}\left[e^{\frac{x}{50}} + e^{-\frac{x}{50}}\right]$	y	$y - a$
m						m	m
-30	-0,6	0,5488	1,8221	2,3709	1,18545	59,273	9,273
-20	-0,4	0,6703	1,4918	2,1621	1,08105	54,053	4,053
-10	-0,2	0,8187	1,2214	2,0401	1,02005	51,003	1,003
0	0	1,0	1,0	2,0	1,0	50,0	0
10	0,2	1,2214	0,8187	2,0401	1,02005	51,003	1,003
20	0,4	1,4918	0,6703	2,1621	1,08105	54,053	4,053
30	0,6	1,8221	0,5488	2,3709	1,18545	59,273	9,273
40	0,8	2,2255	0,4493	2,6748	1,33374	66,870	16,870
50	1,0	2,7183	0,3679	3,0862	1,5431	77,155	27,155
60	1,2	3,3201	0,3012	3,6213	1,81065	90,533	40,533

S pomoću formula 68a izračunate su nadalje vrijednosti:

$$\sec\varphi = \frac{y}{50} = \cosh\left(\frac{x}{50}\right) = \frac{1}{2}\left[e^{\frac{x}{50}} + e^{-\frac{x}{50}}\right]$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \sqrt{\left(\frac{y}{50}\right)^2 - 1} = \sqrt{\sec^2\varphi - 1}$$

$$\operatorname{cosec}\varphi = \frac{\sec\varphi}{\operatorname{tg}\varphi}$$

pa iskazane u slijedećoj tablici 3 :

x (m)	$\sec\varphi$	$\sec^2\varphi$	$\sec^2\varphi - 1$	$\operatorname{tg}\varphi$	$\operatorname{cosec}\varphi$
0	1,0	1,0	0,0	0	∞
10	1,02005	1,04050	0,04050	0,2012	5,0698
20	1,08105	1,16867	0,16867	0,4107	2,6322
30	1,18545	1,40529	0,40529	0,6366	1,8622
40	1,33774	1,78864	0,78864	0,8880	1,5061
50	1,5431	2,38116	1,38116	1,1752	1,3131
60	1,81065	3,27784	2,27784	1,5092	1,1997

U tablici 4 iskazane su konačno, po formulama 66.), 69.), 70a.) i 71.) izračunate veličine :

dužina subnormale : $SN = y \cdot \operatorname{tg}\varphi$,

dužina subtangente: $ST = y \cdot \operatorname{ctg}\varphi$,

dužina normale : $N = y \cdot \sec\varphi$,

dužina tangente : $T = y \cdot \operatorname{cosec}\varphi$,

dužina luka : $s = a \cdot \operatorname{tg}\varphi$,

dužina polumjera krivosti : $\varrho = a \cdot \sec^2\varphi$,

intenzivnost opterećenja : $p = g \cdot \sec\varphi$.

x	y	SN	ST	N	T	s	ϱ	p
m								kg/m
0	50,0	0	∞	50,0	∞	0	50,0	4,00
10	51,003	10,26	253,49	52,03	2585,75	10,06	52,03	4,08
20	54,053	22,20	131,61	58,43	1422,78	20,54	58,43	4,32
30	59,273	37,73	93,11	70,27	1103,78	31,83	70,26	4,74
40	66,870	59,38	75,30	89,43	1007,13	44,40	89,43	5,35
50	77,155	90,67	65,65	119,06	1013,12	58,76	119,06	6,17
60	90,533	136,63	59,99	163,92	1080,12	75,46	163,89	7,24

Za pregib užeta f_x mjeren od tetive ab izlazi iz slike 18 neposredno jednadžba :

$$f_x = y_a + (x - x_a)\frac{h}{l} - y \qquad 73.)$$

ako je

$$\frac{h}{l} = \frac{y_b - y_a}{x_b - x_a} = tg\,\alpha \qquad 74.)$$

U našem je dakle primjeru :

$$h = 90,533 - 59,273 = 31,26\ m$$

$$l = 60 + 30 = 90\ m$$

$$tg\,\alpha = \frac{31,26}{90} = 0,3473$$

$$f_x = 59,273 + (x + 30)\cdot 0,3473 - y$$

x	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60 m
y	59,273	54,053	51,003	51,003	5,003	54,053	59,273	66,870	77,155	90,533 m
f_x	0	8,69	15,22	19,69	22,16	22,59	20,84	16,71	9,90	0 m

Jednadžba 73.) može se pisati i ovako / isp. 64.) / :

$$f_x = y_a + (x - x_a)\frac{h}{l} - a\cdot\cos h\left(\frac{x}{a}\right) \cdots 75.)$$

Pregib postizava maksimalnu vrijednost, kad je

$$\frac{df_x}{dx} = \frac{h}{l} - \sin h\left(\frac{x}{a}\right) = 0$$

dakle kad je / isp. i jedn. 66.) / :

$$y' = tg\varphi = \sin h\left(\frac{x}{a}\right) = \frac{h}{l} = tg\,\alpha$$

$$\varphi = \alpha\ .$$

Maksimalan pregib nastupa u tački lančanice / x_m, y_m /, u kojoj je tangenta paralelna sa spojnicom čvrstih tačaka / tetivom ab /, te mjeri :

$$f = y_a + (x_m - x_a)\frac{h}{l} - y_m\ . \qquad 75a.)$$

Općenito slijedi iz jednadžbe 65.)

$$e^{\frac{x}{a}} = y' + \sqrt{1 + y'^2} = tg\varphi + \sqrt{1 + tg^2\varphi}$$

ako se uzme u obzir, da je

$$tg\varphi + \sqrt{1 + tg^2\varphi} = \frac{1 + tg\left(\frac{\varphi}{2}\right)}{1 - tg\left(\frac{\varphi}{2}\right)} = tg\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right)$$

$$x = a\ln\left[tg\left(45 + \frac{\varphi}{2}\right)\right] \qquad 76.)$$

Za odredjenje apscise x_m mogu dakle poslužiti jednadžbe :

$$\left.\begin{aligned} x_m &= a \ln\left[tg\left(45 + \frac{\alpha}{2}\right)\right] \\ \text{ili} \quad \sinh\left[\frac{x_m}{a}\right] &= tg\,\alpha \\ tg\,\alpha &= \frac{h}{l} \end{aligned}\right\} \quad 77.)$$

Ordinata y_m odredjuje se pak svrsi shodno iz jedn. 68a.), koja za $\varphi = 0$ poprima oblik :

$$\left.\begin{aligned} y_m &= a \cdot \sec\alpha = a\sqrt{1 + tg^2\alpha} \\ tg\,\alpha &= \frac{h}{l} . \end{aligned}\right\} \quad 78.)$$

U našem slučaju iz (77):

$$\sinh\left(\frac{x_m}{a}\right) = 0{,}3473 ,$$

slijedi $$\frac{x_m}{a} = 0{,}34 ;$$

$$x_m = 0{,}34 \cdot a = 0{,}34 \times 50 = 17{,}0\,m$$

Nadalje je : $$\sec\alpha = \sqrt{1 + 0{,}34733^2} = 1{,}0586$$

$$y_m = 50 \times 1{,}0586 = 52{,}93\,m ,$$

i konačno / iz 75.)/ :

$$f = 59{,}273 + (17{,}0 + 30) \cdot 0{,}3473 - 52{,}93 = 22{,}67\,m .$$

7. Drugi primjer i nadopuna . Praznu užnicu spiralnog užeta, jedinične težine $g = 5{,}7$ kg/m, razapetog medju dvije čvrste tačke, horizontalnog razmaka $l = 309{,}5$ m , visinskog razmaka $h = 101{,}88$ m, sa horizontalnim naponom $H = 24^t$, odredili smo u tački 4./ kao parabolu. Sada ju želimo odrediti kao lančanicu, t.j. podati joj oblik, kakav poprima ovo i na ovaj način razapeto spiralno uže, opterećeno samo vlastitom težinom, uistinu.

Parametar tražene lančanice mjeri / 60.)/ :

$$a = \frac{H}{g} = \frac{24000}{5{,}7} = 4210{,}53\,m .$$

Nagib tetive / spojnice čvrstih tačaka / prema horizontali / α / mjeri :

$$tg\,\alpha = \frac{h}{l} = \frac{101{,}88}{309{,}5} = 0{,}329176$$

$$(\alpha = 18^\circ 13' 13'' \text{ i } \frac{\alpha}{2} = 9^\circ 6' 36'')$$

Apscisu maksimalnog pregiba odredjujemo iz jednadžbi 77.):

$$\sinh\left(\frac{x_m}{a}\right) = 0,329176$$

$$\frac{x_m}{a} = 0,323504$$

$$x_m = 4210,53 \times 0,323504 = 1362,21\ m.$$

Ordinata tog pregiba izlazi iz / 78.) /

$$\sec\alpha = \cosh\left(\frac{x_m}{a}\right) = \sqrt{1 + 0,329176^2} = 1,052785$$

$$y_m = a \cdot \sec\alpha = 4210,53 \times 1,052785 = 4432,78\ m.$$

Do koordinata čvrste tačke a / sl. 16 / dolazimo na ovaj način :

Ako su x_a i y_a koordinate čvrste tačke a, onda su $x_b = x_a + l$ i $y_b = y_a + h$ koordinate čvrste tačke b. Budući su to tačke lančanice istog parametra a, to mora biti :

$$y_a = a \cdot \cosh\left(\frac{x_a}{a}\right)$$

$$y_b = a \cdot \cosh\left(\frac{x_a + l}{a}\right)$$

$$h = y_b - y_a = a\left[\cosh\left(\frac{x_a + l}{a}\right) - \cosh\left(\frac{x_a}{a}\right)\right]$$

ili

$$\cosh\left(\frac{x_a + l}{a}\right) - \cosh\left(\frac{x_a}{a}\right) = \frac{h}{a}$$

Ova jednadžba može se pisati i ovako :

$$\cosh\left(\frac{x_a}{a}\right)\cosh\left(\frac{l}{a}\right) + \sinh\left(\frac{x_a}{a}\right)\sinh\left(\frac{l}{a}\right) - \cosh\left(\frac{x_a}{a}\right) = \frac{h}{a}$$

$$\left[\cosh\left(\frac{l}{a}\right) - 1\right]\cosh\left(\frac{x_a}{a}\right) + \sinh\left(\frac{l}{a}\right)\cdot\sqrt{\cosh^2\left(\frac{x_a}{a}\right) - 1} = \frac{h}{a}.$$

Nazovemo li još kratkoće radi :

$$\left.\begin{aligned} c &= \cosh\left(\frac{l}{a}\right) \\ s &= \sinh\left(\frac{l}{a}\right) = \sqrt{c^2 - 1} \\ k &= \frac{h}{a} \end{aligned}\right\} \quad 79.)$$

gornja jednadžba poprima oblik :

$$(c-1)\cosh\left(\frac{x_a}{a}\right) + s\sqrt{\cosh^2\left(\frac{x_a}{a}\right) - 1} = k.$$

Iz ove kvadratične jednadžbe izlazi onda :

$$\cosh\left(\frac{x_a}{a}\right) = \sec\varphi_a = \frac{1}{2}\left[\sqrt{\left(2 + \frac{k^2}{s-1}\right)(c+1)} - k\right] \qquad 79a.)$$

U našem primjeru je :

$$k = \frac{h}{a} = \frac{101,88}{4210,53} = 0,024196\,48\,;$$

$$k = 0,000585469644\,;$$

$$\frac{l}{a} = \frac{309,5}{4210,53} = 0,073506\,;$$

$$c = \cosh\left(\frac{l}{a}\right) = \cosh 0,073506 = 1,002703\,;$$

$$c+1 = 2,002703\,; \qquad c-1 = 0,002703\,;$$

$$\frac{k^2}{c-1} = \frac{0,000585469644}{0,002703} = \frac{585,469644}{2703} = 0,2166\,;$$

$$\cosh\left(\frac{x_a}{a}\right) = \sec\varphi_a = \frac{1}{2}\left[\sqrt{2,2166 \times 2,002703} - 0,024196\,;\right]$$

$$\cosh\left(\frac{x_a}{a}\right) = \sec\varphi_a = 1,041372\,;$$

$$\cosh^2\left(\frac{x_a}{a}\right) = 1,084456\,;$$

$$\sinh\left(\frac{x_a}{a}\right) = \operatorname{tg}\varphi_a = 0,290613\,;$$

$$\sinh^2\left(\frac{x_a}{a}\right) = 0,084456\,;$$

$$e^{\frac{x_a}{a}} = \cosh\left(\frac{x_a}{a}\right) + \sinh\left(\frac{x_a}{a}\right) = 1,331985\,;$$

$$\frac{x_a}{a} = \ln 1,331985 = 0,28667\,;$$

$$x_a = 4210,53 \times 0,28667 = 1207,03\ m\,;$$

$$y_a = a\cosh\left(\frac{x_a}{a}\right) = 4210,53 \times 1,041372 = 4384,73\ m\,;$$

Najveći pregib nastupa u udaljenosti od čvrste tačke a:

$$x_m - x_a = 1362,21 - 1207,03 = 155,18\ m$$

te mjeri / iz 75a/ : $f = y_a + (x_m - x_a)\frac{h}{l} - y_m$,

$$f = 4384,73 + 155,18 \times 0,329176 - 4432,78 = 3,03\ m.$$

Isti taj pregib, pronadjen s pomoću užnice-parabole, iznosio je $f = 2,99$ m i to tačno u polovici raspona l , dakle u udaljenosti od 154,75 m od čvrste tačke a/ isp. tačku 4 /.

Parabola i lančanica daju dakle za prazno uže praktički gotovo jednake pregibe i to za prilično velike raspone i nagibe / kao na pr. u ovom slučaju $l = 309,5$ m, $h = 101,88$ m /. Zbog toga se lančanica rijetko upotrebljava kod izračunavanja pregiba praznog užeta / naročito užeta nosača /. Račun s pomoću parabole jednostavniji

je, a praktički dovoljno tačan. Lančanica upotrebljava se tek kod velikih raspona / $l > 300$ m. / i velikih nagiba, naročito kod izračunavanja pregiba pogonskog užeta, koje je mnogo manje napeto od užeta nosača.-

8. Lančanica i napetost u užetu.

U tački 5./ izveli smo jednadžbu (57):

$$dV = g\,ds .$$

Integriramo li ovu jednadžbu :

$$\int dV = g\int ds + C$$

izlazi :

$$V = gs + C .$$

s označuje dužinu užeta, mjerenu u luku lančanice od njezinog vrha / najdublje tačke C sl. 18 / do tačke / P /, u kojoj vlada napetost / S / sa vertikalnom komponentom V, a g označuje opterećenje po tm. užeta.

U vrhu lančanice je dakle $s=0$, a i $V=0$, jer je u vrhu napetost S_c horizontalna, nema vertikalne komponente, nego je $S_c = H$. Posljednja jednadžba treba da vrijedi i za vrh lančanice / tačku C /, to je, pak jedino moguće, ako je integraciona konstanta $C=0$. Dakle je :

$$V = gs \qquad 80.)$$

ili : vertikalna komponenta napetosti linearno je proporcionalna sa dužinom lančanice. Nadalje budući je

$$S^2 = V^2 + H^2 \qquad \text{/ isp. sl. 18c /}$$

i

$$H = ag \qquad \text{/ isp. jedn. 60 /}$$

bit će :

$$S^2 = g^2s^2 + a^2g^2$$

$$S = g\sqrt{s^2 + a^2}$$

a jer je :

$$s^2 = y^2 - a^2 \qquad \text{/ isp. jedn. 70a /}$$

konačno :

$$\underline{S = gy .} \qquad 81.)$$

Napetost lančanice linearno je proporcionalna sa ordinatom tačke u kojoj djeluje. Ako je dakle u tački lančanice $P_1(x_1, y_1)$ poznata napetost : $S_1 = gy_1$, u povoljnoj tački $P(x,y)$ napetost mjeri / $y_1 > y$ / :

$$\left.\begin{aligned} S_1 - S &= g(y_1 - y) = gh \\ \underline{S &= S_1 - gh ;} \quad h = y_1 - y \end{aligned}\right| \qquad 82.)$$

U vrhu lančanice / u njezinoj najdubljoj tački / napetost mjeri $S_c = H = ag$.

Napetost S u povoljnoj tački lančanice mjeri onda :

$$S - H = gy - ga = g(y-a)$$

$$\underline{S = H + g(y-a)} \qquad 83.)$$

9. Primjer i nadopuna. Imamo opet pred sobom u četvrtoj tački opisano uže težine $g = 5,7$ kg/m , razapeto medju dvije čvrste tačke horizontalnog raspona $l = 309,5$ m i visinske razlike $h = 101,88$ m . Računamo najveću napetost u užetu zbog vlastite težine, ako je uže razapeto sa horizontalnim naponom $H = 24^t$. Najveća napetost nastupa u višoj čvrstoj tački / b /. Njezinu veličinu / S_b / odredjujemo najprije s pomoću užnice-parabole.

Po formuli 51.) je $$tg\varphi_b = tg\alpha + \frac{l}{2a_p} .$$

U ovom slučaju dakle :

$$tg\alpha = \frac{h}{l} = \frac{101,88}{309,5} = 0,329176$$

$$sec\alpha = \sqrt{1+tg^2\alpha} = 1,052785$$

$$p = g \cdot sec\alpha = 5,7 \times 1,052785 = 6,0\ kg/tm$$

$$a_p = \frac{H}{p} = \frac{24.000}{6.000} = 4.000\ m$$

$$tg\varphi_b = 0,329176 + \frac{309,5}{2 \times 4.000} = 0,367864$$

$$sec\varphi_b = \sqrt{1+tg^2\varphi} = 1,065516$$

Nadalje je općenito $V = H tg\varphi$, / isp. jedn. 16/.

$$S^2 = H^2 + V^2 = H^2 + H^2 tg^2\varphi = H^2(1+tg^2\varphi)$$

dakle : $$\underline{S = H\, sec\varphi} \qquad 84.)$$

U našem slučaju : $S_b = 24000 \times 1,065516 = 25.572,38\ kg.$

Odredimo li napetost u istoj tački / b / s pomoću lančanice, izlazi najprije iz tačke 7./ :

$$y_b = y_a + h = 4384,73 + 101,88 = 4486,61\ m ,$$

a iz tačke 8./ formula 81.):

$$S_b = g y_b = 5{,}7 \times 4486{,}61 = 25574\ kg .$$

Oba rezultata praktički se pokrivaju, tek što je odredjenje napetosti u užetu s pomoću lančanice jednostavnije.

U drugoj čvrstoj tački / a / napetost mjeri :

$$S_a = g y_a = 5{,}7 \times 4384{,}73 = 24993\ kg ,$$

a u tački najvećeg pregiba :

$$S_m = g y_m = 5{,}7 \times 4432{,}28 = 25264\ kg .$$

Dakle je :

$$H = 24^t < S_a = 25^t < S_m = 25{,}3^t < S_b = 25{,}6^t ,$$

a sve te sile ne diferiraju mnogo. Najveća je za 6,6 % veća od najmanje.

Iz značajne za lančanicu činjenice, da je napetost u njoj proporcionalna sa ordinatom na istom mjestu, izlaze nadalje snošaji predočeni na slici 19. Da teško uže, ovješeno o čvrste tačke a i b poprimi tačno oblik lančanice sa unapred odredjenim napetostima S_a i S_b u tim tačkama, dovoljno je uže prevesti preko kolotura, učvršćenih u tim tačkama, pa na produžene krajeve ovjesiti utege tako, da podržavaju ravnotežu sa tim napetostima :

$$U_a = S_a = g y_a \ ; \ U_b = S_b = g y_b .$$

Namjesto utega, napr. U_b, jednako bi poslužilo i samo uže, vertikalno produženo preko kolotura sve do osovine X, direktrise lančanice. Jer vertikalan taj komad užeta težio bi upravo : $g y_b = S_b$. Za ravnotežu potrebna težina utega je to manja, što je ordinata manja. U najdubljoj tački lančanice, u vrhu C, za ravnotežu potrebna težina utega zbog toga mjeri najmanje, te je jednaka horizontalnom naponu : $U_c = g a = H$. Ti se odnošaji ne mijenjaju, ako je razapeto uže poduprto sa učvršćenim koloturima i na više mjesta, u istoj visini i u jednakim razmacima. U tom slučaju bit će / Slika 20 / :

$$y_a = y_d = y_e = y_b = y_{max} ,$$

a zanemari li se neznatno trenje na koloturima bit će onda i

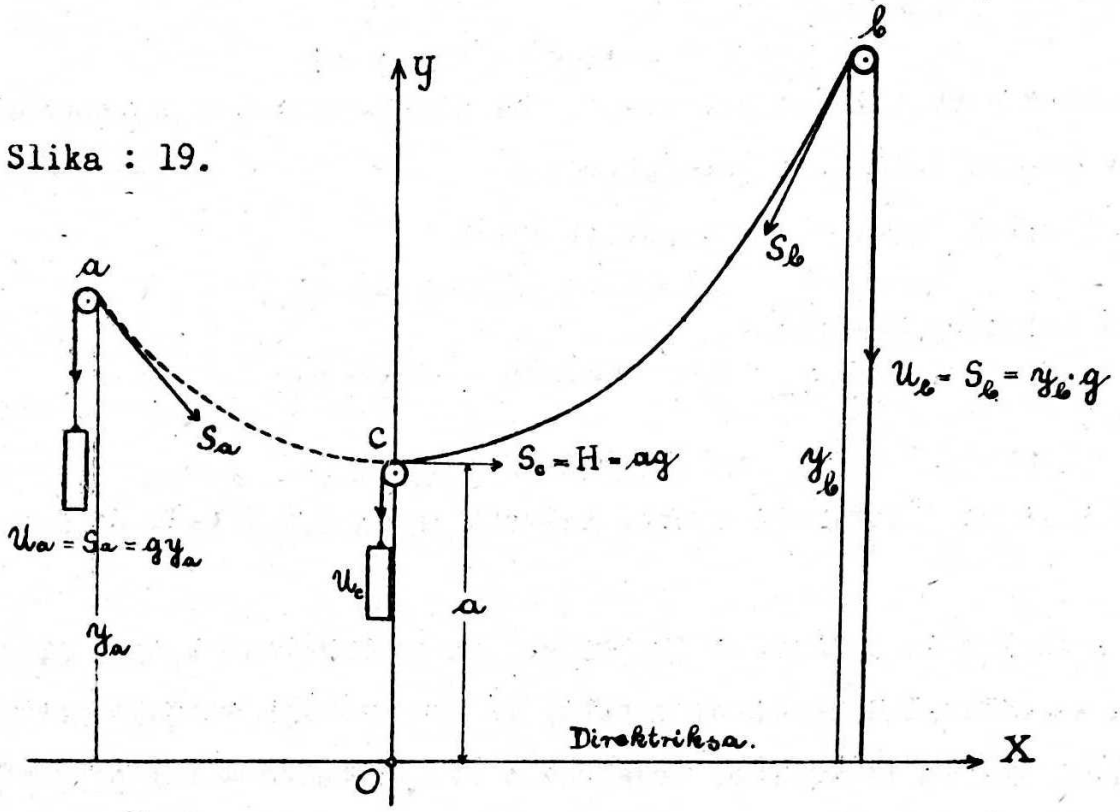
$$S_a = S_d = S_e = S_b = g y_{max} .$$

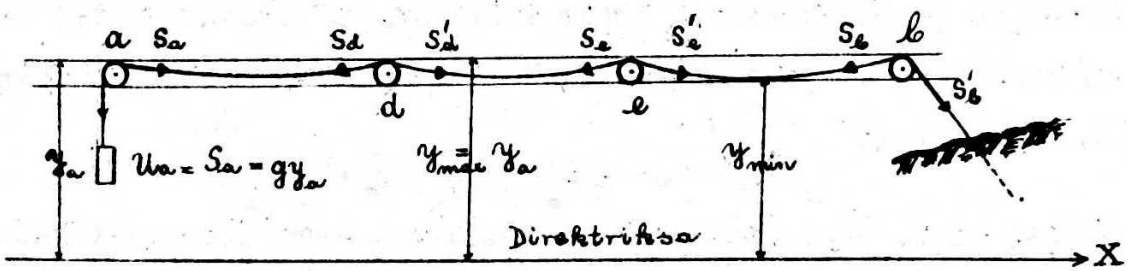
Usidri li se jedan kraj užeta / b / nepomično u čvrsto tlo, a na drugi ovjesi uteg težine $U_a = g y_a$, napetost u povoljnoj tački užeta ležat će u to užim granicama :

$$g y_{min} \leqq S \leqq g y_{max}$$

što je diferencija $y_{max} - y_{min}$ manja.

Slika : 19.





Slika : 20.

Taj snošaj vrijedi približno i onda, kad uporišta ne leže posve u istoj visini, ni posve u istim razmacima.-

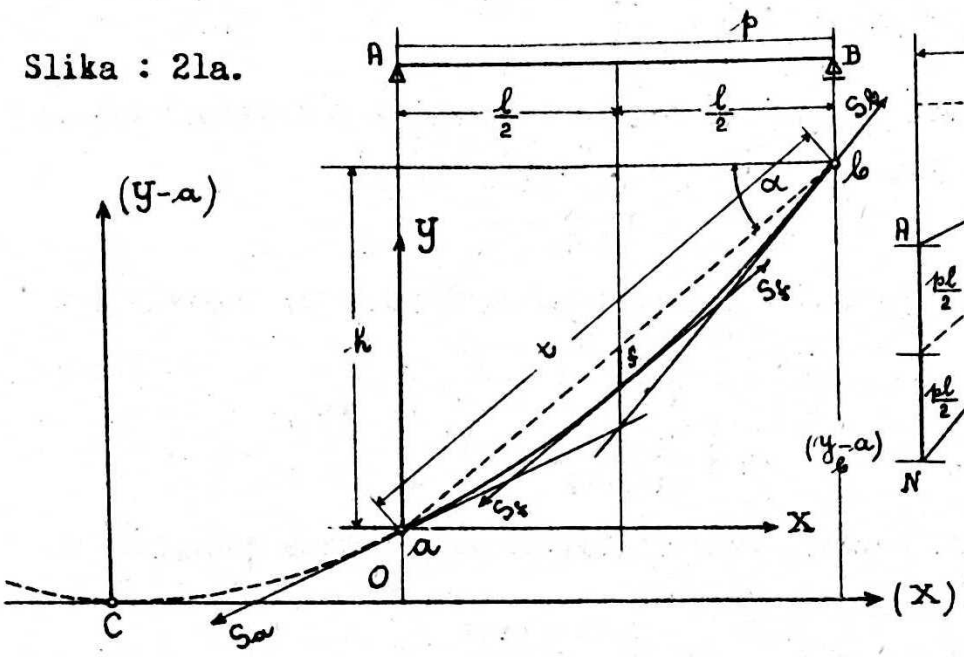
10. Odredjenje horizontalnog napona užnice / H /, ako je zadana napetost užeta na jednom od obaju uporišta.

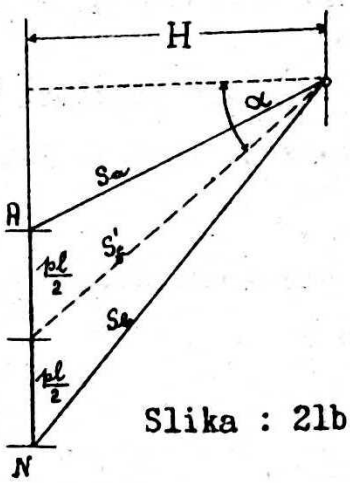
Dosada smo riješavali zadaće uz pretpostavku, da je poznat horizontalan napon H , s kojim je uže napeto. No češće se dešava kod žičara, da treba riješiti takve zadaće uz poznatu ili zadanu napetost u užetu na jednom od obaju uporišta.

U takvom slučaju postupamo ovako :

a./ U razapetom užetu ab, sl. 21a , neka je zadana i poznata napetost S_b na višoj upori b, a treba odrediti najveći pregib f , horizontalan napon H i napetost S_a praznog užeta.

Slika : 21a.





Slika : 21b.

Formula za najveći pregib, smatra li se užnica parabolom, glasi /25/:

$$f = \frac{l^2}{8a}.$$

Nadalje je parametar parabole : $a = \frac{H}{p}$, /21/ a opterećenje odgovarajućeg prostog nosača : $p = g\frac{t}{l}$. /42/

Dakle je :

$$\frac{1}{a} = \frac{p}{H} = \frac{g}{H}\cdot\frac{t}{l}$$

i dalje :

$$f = \frac{glt}{8H}.$$

Napetost S_f na mjestu najvećeg pregiba mjeri / isp.sl.21b / :

$$S_f = H\cdot\sec\alpha = H\cdot\frac{t}{l} \quad \text{ili} \quad H = S_f\cdot\frac{l}{t}. \qquad 85.)$$

Gornja formula prelazi dakle u oblik :

$$f = \frac{gt^2}{8S_f}.$$

Smatramo li sada užnicu lančanicom, što u istinu jest, bit će prema tačci 8./ form. 82 ./

$$S_f = S_b - (y_b - y_f)g$$

Budući je ali :

$$y_b = y_a + h$$

$$y_f = y_a + \frac{h}{2} - f$$

bit će $y_b - y_f = h - \frac{h}{2} + f = \frac{h}{2} + f$. Dakle je $S_f = S_b - \left(\frac{h}{2}+f\right)g$, 86.)

a jednadžba pregiba poprima oblik :

$$f = \frac{gt^2}{8\left[S_b - \left(\frac{h}{2}+f\right)g\right]}.$$

Napetost S_b može se izraziti i sa dužinom kidanja užeta R/ isp. na pr.

form. 52 /, ako se stavi : $S_k = \frac{S_B}{s} = \frac{Rg}{s}$. 87.)

S_B označuje napetost na granici čvrstoće užeta, a s koeficijenat sigurnosti. Onda će biti : $f = \frac{t^2}{8\left[\frac{R}{s} - \frac{h}{2} - f\right]}$.

Iz ove kvadratične jednadžbe izlazi konačno formula za najveći pregib :

$$\left.\begin{aligned} f &= \frac{r}{2}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{1}{2}\left(\frac{t}{r}\right)^2}\right] \\ r &= \frac{R}{s} - \frac{h}{2} \end{aligned}\right\} \quad 88.)$$

Član $\frac{1}{2}\left(\frac{t}{r}\right)^2$ je pravi slomak, redovno toliko malen prema jedinici, da se može staviti : $\sqrt{1 - \frac{1}{2}\left(\frac{t}{r}\right)^2} \sim 1 - \frac{1}{4}\left(\frac{t}{r}\right)^2$.

Gornja formula prelazi onda u :

$$f = \frac{t^2}{8r}, \quad r = \frac{R}{s} - \frac{h}{2} . \qquad 88.a.)$$

Na pr. zadano je $S_k = 25.574$ kg ; $g = 5,7$ kg/m ; $R = 97.120$ m ; $t = 325,84$ m ; $h = 101,88$ m ; $l = 309,5$ m ; Iz 87/ slijedi :

$$\frac{R}{s} = \frac{S_k}{g} = \frac{25.574}{5,7} = 4486,67\ m$$

$\frac{R}{s}$ označuje dakle dužinu užeta, koje teži upravo S_k kilograma.

$$r = \frac{R}{s} - \frac{h}{2} = 4486,67 - 50,94 = 4435,73\ m$$

$$\frac{t}{r} = \frac{325,84}{4435,73} = 0,0734582 \; ; \left(\frac{t}{r}\right)^2 = 0,0053961$$

$$\frac{r}{2} = 2217,87 \; ; \quad \frac{1}{2}\left(\frac{t}{r}\right)^2 = 0,002698$$

$$\sqrt{1 - \frac{1}{2}\left(\frac{t}{r}\right)^2} = \sqrt{1 - 0,002698} = 0,99865$$

Po tačnijoj formuli 88/ je onda :

$$f = 2217,87\left[1 - 0,99865\right] = 2217,87 \times 0,00135 = 2,994\ m$$

Po približnoj formuli 88.a/ :

$$f = \frac{t}{8}\cdot\frac{t}{r} = \frac{325,84}{8}\cdot 0,0734582 = 2,992\ m .$$

Nadalje je :

$$S_a = S_k - g\cdot h = 25.574 - 5,7 \times 101,88 = 24.993\ kg.$$

a iz 86/ :

$$S_f = S_k - \left(\frac{h}{2} + f\right)g = 25,574 - (50,94 + 2,99)\,5,7$$

$$S_f = 25267\ kg.$$

te iz 85./ : $H = S_f \cdot \frac{l}{t} = 25267 \cdot \frac{309,5}{325,84} = 24.000\,kg.$

Parametar lančanice mjeri :

$$a = \frac{H}{g} = \frac{24.000}{5,7} = 4210,5\,m$$

a parametar parabole užnice / 42 /

$$a = \frac{H}{p} = \frac{H}{g \cdot \frac{t}{l}} = \frac{24.000}{5,7\,\frac{325,84}{101,88}} = 4.000\,m.$$

Ordinate lančanice su / 81./ :

$$y_a = \frac{S_a}{g} = \frac{24993}{5,7} = 4384,73\,;$$

$$y_f = y_a + \frac{h}{2} - f = 4384,73 + 50,94 - 2,99 = 4432,68\,;$$

$$y_b = y_a + h = 4384,73 + 101,88 = 4486,61\,;$$

Kontrola :

$$y_f = \frac{S_f}{g} = \frac{25267}{5,7} = 4432,8$$

$$y_b = \frac{S_b}{g} = \frac{25574}{5,7} = 4486,6$$

Nagib tangenata prema horizontali mjeri općenito / lančanica, form. 68a/:

$$tg\varphi = \sqrt{\left(\frac{y}{a}\right)^2 - 1}$$

Dakle je :

$$\frac{y_a}{a} = \frac{4384,73}{4210,5} = 1,041380\,;\quad \left(\frac{y_a}{a}\right)^2 = 1,0844723$$

$$\frac{y_b}{a} = \frac{4486,61}{4210,5} = 1,065577\,;\quad \left(\frac{y_b}{a}\right)^2 = 1,1354544$$

$$tg\varphi_a = \sqrt{0,0844723} = 0,29064\,.$$

$$tg\varphi_b = \sqrt{0,1354544} = 0,36804\,.$$

Smatramo li užnicu parabolom nagib tangente općenito mjeri / parabola, formula 23/ :

$$tg\varphi = \frac{h}{l} - \frac{1}{a}\left(\frac{l}{2} - x\right)$$

ili u našem slučaju :

$$tg\varphi = 0,32918 - \frac{154,75 - x}{4000}$$

za $x = 0$ bit će :

$$tg\varphi_a = 0,32918 - \frac{154,75}{4000} = 0,29049.$$

za $x = l = 309,5$ m. bit će :

$$tg\varphi_b = 0,32918 + \frac{154,75}{4000} = 0,36787.$$

b./ U razapetom užetu ab / sl. 21 /, neka je zadana i poznata napetost S_a na nižoj upori a, pa treba odrediti najveći pregib f, horizontalan napon H i napetost S_b praznog užeta.

Analognim postupkom kao pod 1./ izlazi :

za napetost na mjestu najvećeg pregiba :

$$S_f = S_a + \left(\frac{h}{2} - f\right) g \qquad 89.)$$

Zatim snošaj :

$$S_a = \frac{S_B}{s} = \frac{Rg}{s} \qquad 90.)$$

pa konačno tačna formula za najveći pregib :

$$f = \frac{r}{2}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{1}{2}\left(\frac{t}{r}\right)^2}\right] \qquad 91.)$$

dotično približna :

$$f = \frac{t^2}{8r}, \qquad 92.)$$

ako je u obim formulama :

$$r = \frac{R}{s} + \frac{h}{2}. \qquad 93.)$$

Na pr. $S_a = 24.993$ kg ; $g = 5,7$ kg/m ; $R = 97.120$ m ; $t = 325,84$ m ;
$h = 101,88$ m ; $l = 309,5$ m .

$$\frac{R}{s} = \frac{S_a}{g} = \frac{24,993}{5,7} = 4384,74 \text{ m};$$

$$r = \frac{R}{s} + \frac{h}{2} = 4384,74 + 50,94 = 4435,41 \text{ m};$$

$$\frac{t}{r} = \frac{325,84}{4435,41} = 0,073463; \quad \left(\frac{t}{r}\right)^2 = 0,00539686$$

$$\frac{r}{2} = 2217,705; \quad \frac{1}{2}\left(\frac{t}{r}\right)^2 = 0,00269843$$

$$\sqrt{1 - \frac{1}{2}\left(\frac{t}{r}\right)^2} = \sqrt{0,99730} = 0,99865$$

$$f = 2217,705(1 - 0,99865) = 2,994 \text{ m}$$

$$S_b = S_a + gh = 24993 + 5,7 \times 101,88 = 25574 \text{ kg}$$

$$S_f = S_a + \left(\frac{h}{2} - f\right) = 24993 + (50,94 - 2,99)\,5,7 = 25266 \text{ kg}$$

$$H = S_f \cdot \frac{l}{t} = 25266 \cdot \frac{309,5}{325,84} = 24.000 \text{ kg}.$$

Ostalo kao pod a/ .

c./ Leže li uporišne tačke a i b u istoj visini, bit će :

$$h = 0 \; ; \qquad t = l \; ; \qquad r = \frac{R}{s} . \qquad 94.)$$

$$S_a = S_b = \frac{R}{s} g = rg . \qquad 95.)$$

$$S_f = H = S_a - fg = (r - f) g . \qquad 96.)$$

$$\left. \begin{aligned} f &= \frac{r}{2}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{1}{2}\left(\frac{l}{r}\right)^2}\right] \\ f &\sim \frac{l^2}{8r} . \end{aligned} \right\} \qquad 97.)$$

Analogno račun za punu užnicu izvodi se ovdje tek za najčešći slučaj šumskih žičara, t.j. za slučaj, u kojem se u istom polju nalazi samo po jedan voz opterećen sa tovarom.

d./ Uporišta leže u raznim visinama. Zadana je napetost S_b na višem uporištu / b /. Osim toga zadano je, naravno, opterećenje p, koncentričan teret P, pa razmaci l i h, dakle i $tg\alpha = \frac{h}{l}$.
Prvi i najvažniji korak je odredjenje horizontalnog napona H. Grafičko odredjenje tog napona predočuje slika 22a i 22b / isp. tačku 1 /.
Iz tog grafičkog riješenja izvodi se analitičko riješenje na ovaj način:
Iz slike 22b izlazi :

$$H = S_f \cdot \cos\alpha$$

$$S_f = OD - CD = \sqrt{S_b^2 - DN^2} - A \cdot \sin\alpha$$

$$S_f = \sqrt{S_b^2 - A^2 \cos^2\alpha} - A \cdot \sin\alpha$$

$$H = \left[\sqrt{S_b^2 - A^2 \cos^2\alpha} - A \cdot \sin\alpha\right] \cos\alpha$$

ili za račun zgodnije :

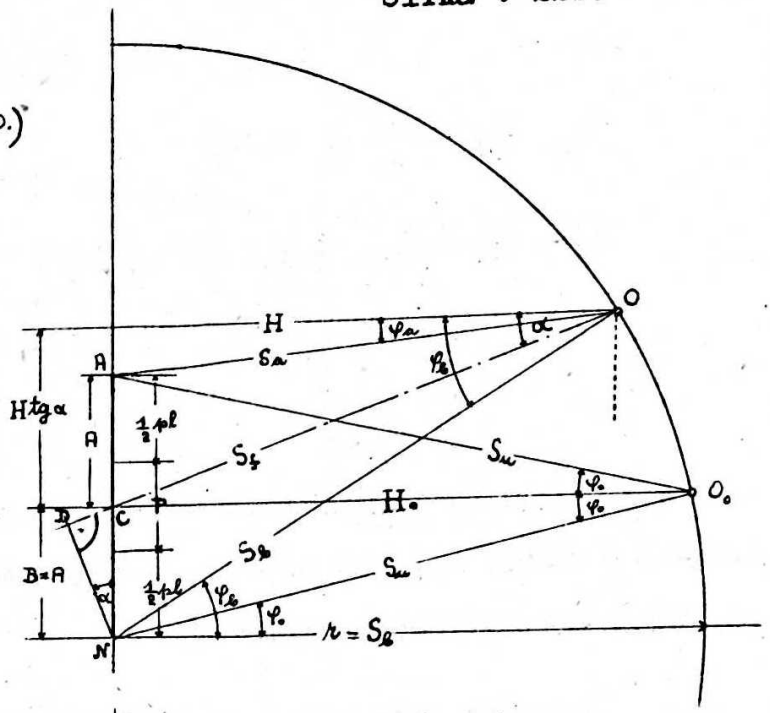
$$\left. \begin{aligned} H &= \left[S_b \sqrt{1 - \left(\frac{A}{S_b}\cos\alpha\right)^2} - A \sin\alpha \right] \cos\alpha \\ A &= \frac{1}{2}(pl + P) . \end{aligned} \right\} \qquad 98.)$$

Nadalje je :

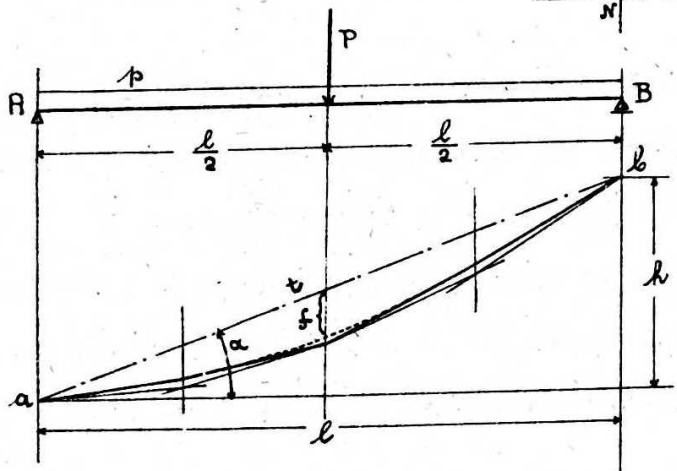
$$\left. \begin{aligned} tg\varphi_b &= \frac{H tg\alpha + A}{H} = tg\alpha + \frac{A}{H} \\ tg\varphi_a &= \frac{H tg\alpha - A}{H} = tg\alpha - \frac{A}{H} \\ A &= \frac{1}{2}(pl + P) \end{aligned} \right\} \qquad 99.)$$

Slika : 22b.

$$\left.\begin{aligned} S_a &= H\cdot \sec\varphi_a = H\sqrt{1+tg^2\varphi_a} \\ S_b &= H\cdot \sec\varphi_b = H\sqrt{1+tg^2\varphi_b} \end{aligned}\right\} \text{100.)}$$



Slika : 22a.



Na pr. Neka je zadano :

$l = 309{,}5$ m ;

$h = 101{,}88$ m ;

$tg\alpha = \frac{h}{l} = 0{,}329176$;

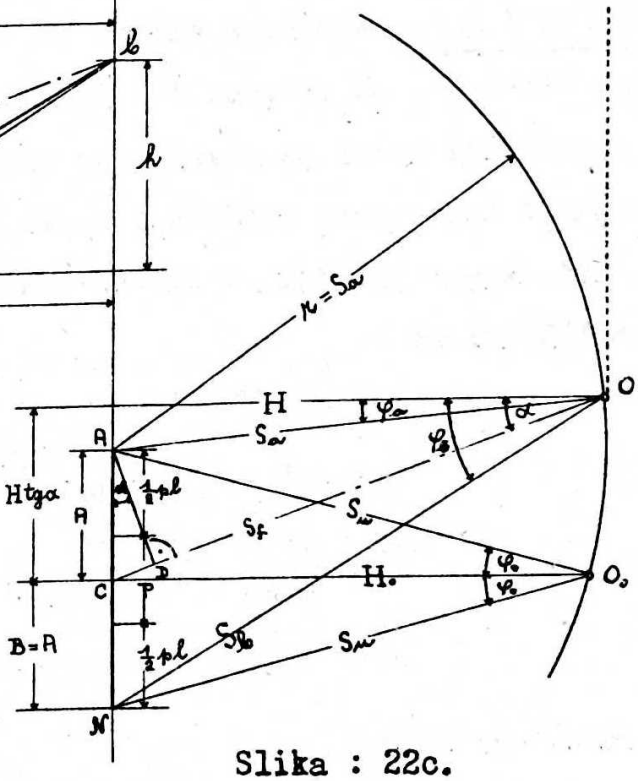
$\sin\alpha = 0{,}312672$;

$\cos\alpha = 0{,}949862$;

$p = 6$ kg/m ;

$P = 1{,}6^t$;

$S_b = 25.859$ kg.



Slika : 22c.

Onda je : $A = \frac{1}{2}(pl + P) = \frac{1}{2}(6 \times 309{,}5 + 1600) = 1728{,}5$ kg.

$A\cos\alpha = 1728{,}5 \times 0{,}949862 = 1641{,}8$ kg

$A\sin\alpha = 1728{,}5 \times 0{,}312672 = 540{,}5$ kg

$$\frac{A\cos\alpha}{S_b} = \frac{1641{,}8}{25.859} = 0{,}063491$$

$$\left(\frac{A\cos\alpha}{S_b}\right)^2 = 0{,}0040311$$

$$\sqrt{1-\left(\frac{A\cos\alpha}{S_b}\right)^2} = \sqrt{0{,}9959689} = 0{,}99798$$

$$\frac{H}{\cos\alpha} = 25859 \times 0{,}99798 - 540{,}5 = 25266{,}7$$

$$H = 25266{,}7 \times 0{,}949862 = 24.000\ kg.$$

$$\frac{A}{H} = \frac{1728{,}5}{24.000} = 0{,}072021$$

$$tg\varphi_a = 0{,}329176 - 0{,}072021 = 0{,}257155$$

$$\sqrt{1+tg^2\varphi_a} = 1{,}032535$$

$$S_a = 24.000 \times 1{,}032535 = 24780{,}8\ kg$$

Najveći pregib računa se najzgodnije iz formule 47.), koja za $x = \frac{l}{2}$ prelazi u poznat oblik :

$$f = \frac{l^2}{8 a_q}$$

$$a_q = \frac{H}{q} = \frac{H}{p + \frac{2P}{l}} \quad / \text{ isp. } 43{,}46 /$$

U našem slučaju je

$$a_q = \frac{24.000}{6 + 10{,}34} = 1468{,}9$$

$$f = \frac{309{,}5^2}{8 \times 1468{,}9} = 8{,}15 m \quad / \text{ isp. tabl. } 1 /$$

Najveći pregib uistinu bit će nješto manji od ovog računskog. Pritisak kolica P uistinu nije koncentrisan tek u jednoj tačci užeta, kako smo računski pretpostavili, nego se rasprostranjuje po užetu lijevo i desno od koncentričnog tereta P na izvjesnu dužinu. Zakon po kojemu se rasprostranjuje nije poznat. Zbog toga užetnica uistinu ne će biti prelomljena na mjestu najvećeg pregiba f, nego će imati p.p. oblik, kako je crtkano označeno na slici 22a. U praktičke svrhe ovaj ali približan račun posvema dostaje, jer pogriješka u računu svakako ne će biti velika i od praktičkog značenja u običnim prilikama.

e./ Uporišta leže u raznim visinama. Zadana je napetost S_a na nižem uporištu a.

Iz slike 22c izlazi :

$$S_f = OD + CD = \sqrt{S_a^2 - (A\cos\alpha)^2} + A\sin\alpha$$

$$H = S_f \cdot \cos\alpha = \left[S_a\sqrt{1-\left(\frac{A}{S_a}\cos\alpha\right)^2} + A\sin\alpha\right]\cos\alpha \qquad 101.)$$

$$A = \frac{1}{2}(pl + P)$$

$$tg\varphi_l = \frac{H\,tg\alpha + A}{H} = tg\alpha + \frac{A}{H}$$

$$tg\varphi_a = \frac{H\,tg\alpha - A}{H} = tg\alpha - \frac{A}{H} \qquad 102.)$$

$$S_l = H\sec\varphi_l = H\sqrt{1+tg^2\varphi_l}$$

$$S_a = H\sec\varphi_a = H\sqrt{1+tg^2\varphi_a} \qquad 103.)$$

Na pr. Zadano je S_a= 24780,8 kg, a ostalo kao pod d/. Onda je :

$A\cdot\cos\alpha = 1641,8$ kg

$A\cdot\sin\alpha = 540,5$ kg

$$\frac{A\cdot\cos\alpha}{S_a} = \frac{1641,8}{24780,8} = 0,066255$$

$$\left(\frac{A\cdot\cos\alpha}{S_a}\right)^2 = 0,00438966$$

$$\sqrt{1-\left(\frac{A\cos\alpha}{S_a}\right)^2} = 0,997802$$

$$\frac{H}{\cos\alpha} = 24780,8 \times 0,997802 + 540,5 = 25266,8$$

$H = 25266,8 \times 0,949862 = 24.000$ kg

$\frac{A}{H} = 0,072021$; $tg\varphi_l = 0,329176 + 0,072021 = 0,401197$

$$\sqrt{1+tg^2\varphi_l} = 1,077477$$

$S_l = 24000 \times 1,077477 = 25.859$ kg.

Najveći pregib f_v kao pod d/.

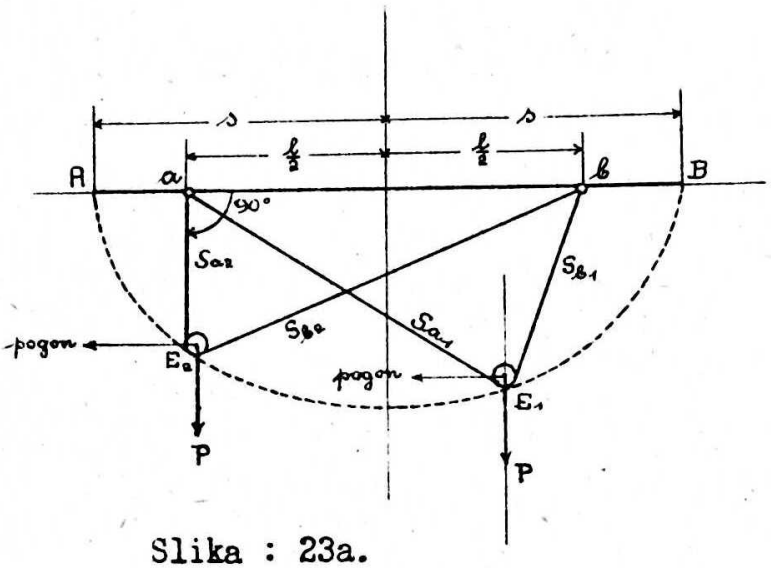
f./ Leže li uporišta a i b u istoj visini, a zadano je $S_a = S_b = S_w$, bit će $\alpha = 0$. Prijašnje formule 98.)-103.) poprimaju oblik :

$$\left.\begin{aligned} H &= \sqrt{S_u^2 - A^2} \\ A &= \tfrac{1}{2}(pl + P) \\ tg\varphi_l &= +\frac{A}{H} \\ tg\varphi_a &= -\frac{A}{H} \end{aligned}\right\} \quad 104.)$$

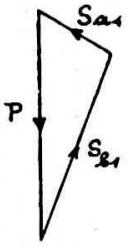
$$\left.\begin{aligned} f &= \frac{l^2}{8a_q}\,; \\ a_q &= \frac{H}{q} = \frac{H}{p + \frac{2P}{l}} \end{aligned}\right\} \quad 105.)$$

Sve formule za punu užnicu izvedene u posljednjim tačkama / d,e,f /, ako se u njima stavi $P = 0$, mogu se naravno upotrijebiti i za odredjenje horizontalnog napona itd. prazne užnice. Razlika izmedju prvih / tačke a,b,c / i drugih formula / tačke d,e,f / leži u tome, što smo u prvim formulama kod odredjivanja napetosti u užetu pretpostavili lančanicu kao užnicu, a u drugima parabolu. Razlika u rezultatima prvih / tačnijih / i drugih formula je to manja, što je raspon l i visinska razlika h manja, a horizontalan napon H veći. Osim toga prve formule odredjuju pregib užnice samo na temelju poznavanja jedne od obiju uporišnih napetosti pa kvocijenta $\frac{R}{s}$. Taj je pak kvocijenat, uz isti koeficijenat sigurnosti s, konstantan broj, za sva užeta pletena na jednaki način od žica istog metala / R = dužina kidanja, isp. form. 4., otsjek žično uže /. Prazna užnica moći će se dakle osnovati već na temelju samog tog kvocijenta $\frac{R}{s}$, a promjer i težinu užeta odrediti tek poslije, nakon uočenja svih prilika i potreba u konkretnom slučaju, uz upotrebu prvih formula. U tome i leži njihova prednost.

11. Učvršćenje užeta nosača na modernim zračnim žičarama i posljedice tog učvršćenja. Učvrste li se krajevi užeta o dvije čvrste tačke a i b tako, da ih nikako napustiti ne mogu, no istodobno i tako, da se oko njih okretati mogu, prazno, teško i podatno uže poprima oblik lančanice. Zamislimo sad na ovaj način ovješeno neteško uže, apsolutno podatno, i na njemu točak / kolotur / sa ovješenim teretom P / slika 23a /. Dužina užeta $2s$ neka je veća od razmaka čvrstih

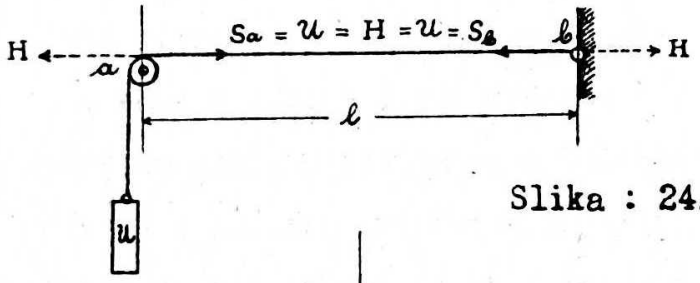


Slika : 23a.

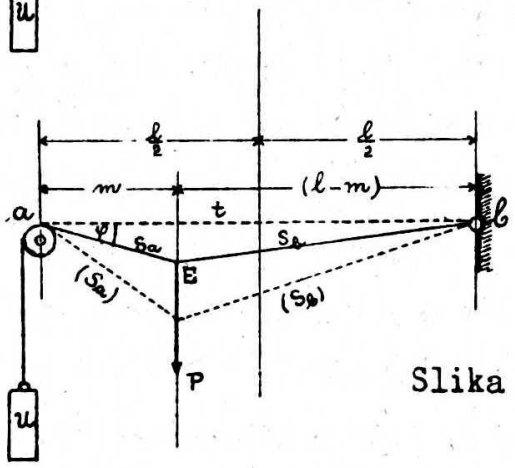


Slika : 23b.

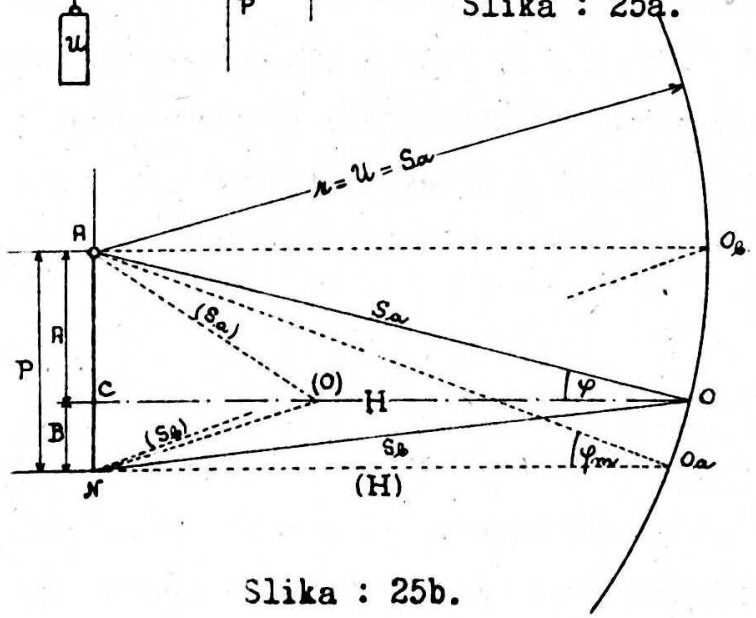
tačaka $ab = l$. Putuje li kolotur sa teretom u smjeru od b prema a, u povoljnom položaju E_1, dio užeta S_{a1} / i drugi dio S_{b1} / poprimit će tačno smjer pravca aE_1 / dotično pravca bE_1 /. Smjer pravca zato, jer potpuno podatno uže poprima smjer napetosti u njemu. Smjer aE_1 / dotično bE_1 / zato, jer sile, koje će podržavati ravnotežu sa teretom P, moraju prolaziti čvrstim tačkama a i b i moraju se sijeći sa silom P u jednoj te istoj tački. Tri sile su naime uravnotežene samo onda, ako se sijeku u istoj tački, a njihov vek-



Slika : 24.



Slika : 25a.



Slika : 25b.

torpoligon ako je zatvoren / Sl. 23b /. Položaj tačke E_1 na vertikali tereta P zavisi pak o dužini užeta, jer u svakom položaju tereta P dužina obaju dijela užeta ne može biti nego jednaka dužini cijelog užeta : $aE+bE = 2s$. Tačka E opisuje dakle elipsu. Njezina najveća osovina jednaka je dužini cijelog užeta $AB = 2s$. Jedan i drugi dio užeta / S_a i S_b/ su pak radiusvektori, koji spajaju povoljnu tačku elipse E sa njezinim fokusima, čvrstim tačkama a i b . Elipsu naime karaktiriše svojstvo, da je suma radiusvektora svake njezine tačke jednaka najvećoj njezinoj osovini.

Najnezgodnije leži kolotur sa teretom, kad se nalazi u blizini čvrstih tačaka ili upravo u njihovim vertikalama. U položaju E_2 na pr. pod čvrstom tačkom a, dio užeta S_{a2} ima smjer vertikala, a napetost u njemu je $S_{a2} = -P$. Napetost u drugom dijelu užeta je $S_{b2} = 0$. Da dodje kolotur sa teretom nad čvrstu tačku a, treba ga vertikalno podignuti iz tačke E_2 nad tačku a. Djeluje li pak pogonsko uže, kao kod zračnih žičara, u smjeru $B \longrightarrow A$, ono ga nije u stanju izdignuti, nego kolotur sa teretom zapne i sustane u tom položaju. Uistinu uže zračnih žičara nije ni izdaleka apsolutno podatno i zbog toga S_{a2} uistinu ne poprima smjer vertikale nego oblik strme krivulje, po kojoj se kolotur sa teretom uspinje i prelazi preko čvrste tačke a i to s tim mučnije, čim je uže manje napeto. Zbog toga, a još i drugih razloga radi, uže modernih žičara nije učvršćeno i razapeto na ovaj način, nego na način predočen na slici 24. S jednim krajem / b / usidreno uže na drugom kraju prevedeno je preko kolotura / a / i opterećeno sa utegom U. Neteško takovo uže poprima oblik pravca ab, a napetost u njemu mjeri na svakom mjestu $S = U$. Leže li tačke a i b u istoj visini, bit će i horizontalan napon $H = S = U$. Pretpostavimo li opet najnepovoljniji slučaj, t.j. posve podatno neteško uže, pomičan teret P prelazi preko čvrste tačke / upore / a sada ovako :

Na slici 25a nacrtan je najprije taj teret P u povoljnom položaju E . Povučene su zatim pomoćne / crtkane / stranice / S_a/ i / S_b / iz čvrstih tačaka a i b uz jedini uvjet, da se sijeku sa teretom P u istoj tački. U vektorpoligonu / Sl. 25b / povučene su sa tim stranicama paralelne

zrake /S_a/ i /S_b/, koje odredjuju pomoćni pol / O /. Iz tog pola povučena paralela sa zaključnom crtom ab siječe na vektorpoligonu reakcije čvrstih tačaka A i B. Uz zadanu težinu utega, napetost u lijevom dijelu užeta ne može biti nego $S_a = U$. Opišemo li dakle iz tačke A vektorpoligona luk kružnice polumjera $r = U = S_a$, sječište tog luka sa produženom zrakom $C(O)$ odredjuje pravi pol O, dakle i pravu napetost u drugom dijelu užeta $S_b = NO$. Paralele, povučene sa zrakama AO i NO iz čvrstih tačaka a i b, odredjuju oblik užeta uistinu, ako je ono napeto sa utegom U, a opterećeno sa teretom P. Horizontalan napon je u ovom slučaju $H = CO$. Stranica S_a zatvara sa tetivom ab kut :

$$tg\varphi \equiv \frac{A}{CO}$$

Primiče li se teret P k upori a sve bliže, kut φ raste sve više, jer reakcija A raste brže od komponente CO napetosti S_a. Kad se nalazi teret P tik pred uporom a, $A \longrightarrow P$, a $CO \longrightarrow NO_a$, pa će biti :

$$\lim tg\varphi = \lim \frac{A}{CO} = \frac{P}{NO_a} = tg\varphi_m .$$

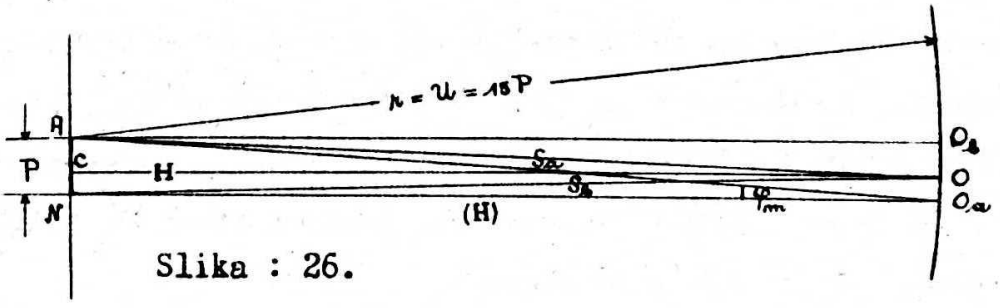
Uz isti teret P kut φ je to manji, što je veća komponenta CO ; ta je opet to veća, što je veća težina utega U. Zbog toga odabire se kod šumskih žičara težina utega velika, p.p. u granicama :

$$\frac{1}{10} > \frac{P}{U} = \frac{\text{Brutto teret jednih kolica}}{\text{Težina utega}} > \frac{1}{20}$$

Srednja vrijednost za taj kvocijenat je dakle,

$$\frac{P}{U} = \frac{1}{15},$$

a slika 26 predočuje taj odnos zorno.



Slika : 26.

Uz taj omjer je ali praktički : $NO_a \sim S_b \sim H \sim S_a \sim U$, dakle :

$$tg\varphi_m \sim \frac{P}{U} = \frac{1}{10} \sim \frac{1}{20} = 0{,}1 - 0{,}5$$

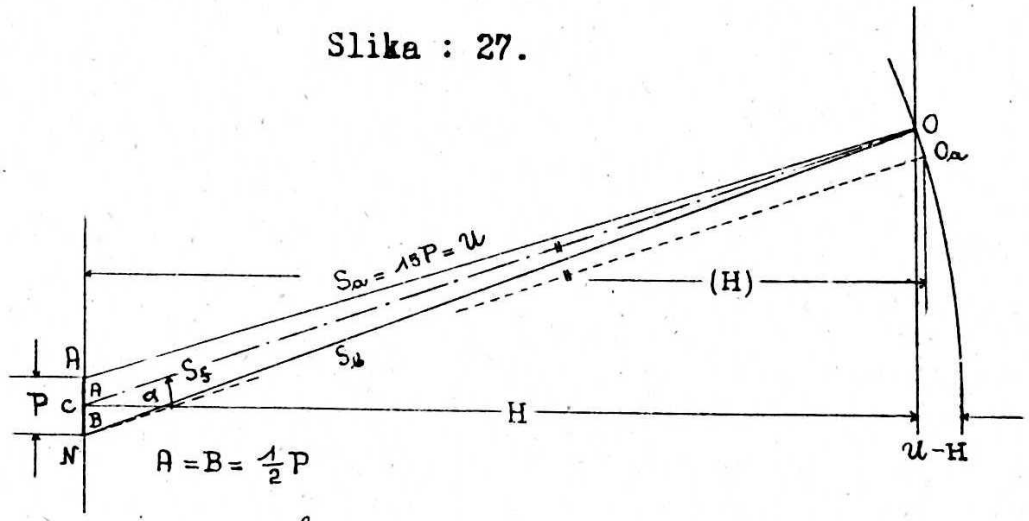
t.j. posve podatno uže lomi se nad uporom pod kutem :

$$2°52' < \alpha_m < 5°43'$$

Uz tako malen kut lako prelazi točak sa teretom preko upore, i to s tim lakše, što uže uistinu nije ni izdaleka posve podatno, ne lomi se oštro nad uporom, nego prelazi u luku blage krivosti preko nje. Ovaj način razapinjanja i učvršćenja užeta nosača ima još i ove prednosti : Uže je razapeto uvijek sa istom napetošću $S_a = \mathcal{U}$ i onda, kad promjeni dužinu zbog promjene temperature ili zbog prometa. Svako naime sukano uže biva to tanje i duže, što se duže nalazi pod prometom. Zavijutci žica splasnjuju u njemu.

Leže li upore a b u istoj visini, praktički moći će se dakle uvijek izjednačiti napetost u užetu i horizontalan napon sa težinom utega : $S = H = \mathcal{U}$. Dovoljnom točnošću može se učiniti tako i onda, kad visinska diferencija obaju uporišta h nije znatna.

Slika : 27.



Ne leže li upore a i b u istoj visini, horizontalan napon H razlikuje se od težine utega $\mathcal{U}$, dotično od napetosti u užetu, kako se razabire iz slike 27., koja predočuje vektorpoligon neteškog užeta, razapetog sa utegom težine $\mathcal{U} = S_a = 1{,}5P$, ako se teret P nalazi u sredini raspona / reakcija A = reakciji B = $\frac{1}{2}P$ /, a tetiva ab, ako zatvara sa horizontalom kut α / na slici $tg\alpha = 0{,}285$ /. Razlika $\mathcal{U} - H$ je to veća, što je taj kut veći.

Horizontalan napon H teoretski se mijenja sa položajem tereta P na užetu / isp. na pr. H i (H) na slici 25b /. No te su promjene uz rečeni omjer $\frac{P}{\mathcal{U}}$ toliko neznatne / isp. H i (H) na slikama 26 i 27 /, da se redovno računa sa konstantnim osrednjim horizontalnim naponom $H = S_f \cdot \cos\alpha$ za sve napetosti u užetu istog polja žičare i onda kad

uporišta $\mathcal{A}$ i $\mathcal{B}$ ne leže u istoj ravnini. Formule 98.) i 101.) mogu se pak pojednostaviti ovako :

Uz rečeni omjer $\frac{P}{\mathcal{U}} = \frac{1}{10} \sim \frac{1}{20}$, ako imamo na umu, da slovo A u formulama 98.) i 101.) označuje istoimenu uporišnu reakciju, u našem slučaju dakle $A = \frac{1}{2}P$ / isp.sl. 27 /, bit će, budući je $S_{\mathcal{B}} > S_{\mathcal{A}}$,

$$\left(\frac{A}{S_{\mathcal{B}}}\cos\alpha\right)^2 < \left(\frac{A}{S_{\mathcal{A}}}\cos\alpha\right)^2 = \left(\frac{1}{2}\cdot\frac{P}{\mathcal{U}}\cos\alpha\right)^2 = \left(\frac{\cos\alpha}{20\sim 40}\right)^2 \quad *)$$

pravi slomak malen toliko, da ga praktički prema jedinici možemo zanemariti. Iz formula 98.) i 101.) izlazi onda :

$$\left.\begin{aligned} S_{\mathcal{F}} &= S_{\mathcal{B}} - A\sin\alpha \\ S_{\mathcal{F}} &= S_{\mathcal{A}} + A\sin\alpha \end{aligned}\right\} \quad \text{ili} \quad \left.\begin{aligned} S_{\mathcal{B}} &= S_{\mathcal{F}} + A\sin\alpha \\ S_{\mathcal{A}} &= S_{\mathcal{F}} - A\sin\alpha \end{aligned}\right\} \qquad 106.)$$

$$A = \frac{1}{2}(pl + P)\,; \quad H = S_{\mathcal{F}}\cdot\cos\alpha \qquad 107.)$$

Kod prazne užnice je :

$$A\cdot\sin\alpha = \frac{1}{2}pl\sin\alpha = \frac{1}{2}ph.$$

Dakle :

$$S_{\mathcal{B}} = S_{\mathcal{F}} + \frac{1}{2}ph$$

$$S_{\mathcal{A}} = S_{\mathcal{F}} - \frac{1}{2}ph$$

Ako je još $S_{\mathcal{A}} = \mathcal{U}$,

bit će $S_{\mathcal{F}} = \mathcal{U} + \frac{1}{2}ph\,;\; S_{\mathcal{B}} = \mathcal{U} + ph\,;\; H = S_{\mathcal{F}}\cdot\cos\alpha.$

Tačnije još, smatra li se užetnica lančanicom / isp. 82.) / :

$$\left.\begin{aligned} S_{\mathcal{B}} &= S_{\mathcal{F}} + \tfrac{1}{2}gh \\ S_{\mathcal{A}} &= S_{\mathcal{F}} - \tfrac{1}{2}gh \end{aligned}\right\} \qquad 108.)$$

Ako je $S_{\mathcal{A}} = \mathcal{U}$:

$$\left.\begin{aligned} S_{\mathcal{F}} &= \mathcal{U} + \tfrac{1}{2}gh \\ H &= S_{\mathcal{F}}\cdot\cos\alpha \\ S_{\mathcal{B}} &= \mathcal{U} + gh \end{aligned}\right\} \qquad 109.)$$

Konačno, ako je $\alpha = 0$, izlazi prije već izvedeni slučaj :

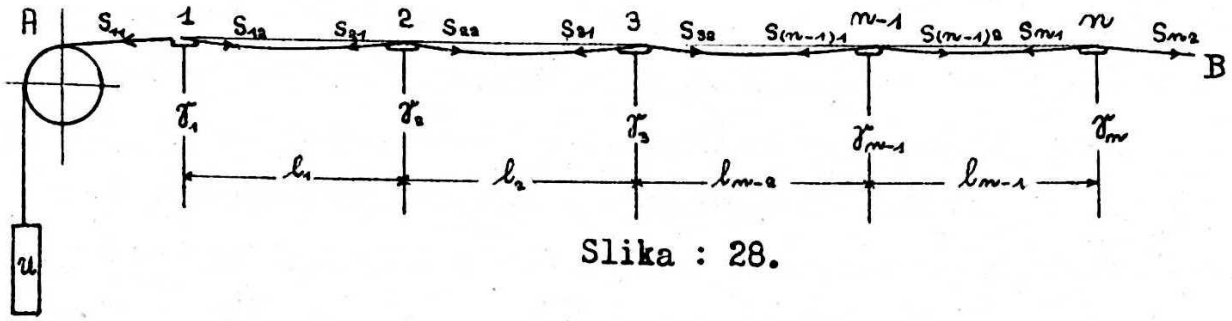
$$H \sim S_{\mathcal{A}} \sim S_{\mathcal{F}} \sim S_{\mathcal{B}} \sim \mathcal{U}\,. \qquad 110.)$$

12. Uže kao kontinuirani nosač na više upora. Uže nosač modernih zračnih žičara prelazi redovno preko više upora, te na svakoj upori leži u žlijebu ležaja od lijevana željeza (sl. 29). S jednim krajem nepomično je usidreno / B sl. 28 /, a na drugom kraju napeto je s pomoću utega / A /. Djelovanje utega slabi na taj način od upore do upore zbog trenja na ležajima. U kojoj mjeri, promatramo prazno uže najprije, ako:

---

*) Najveća mu je vrijednost / za $\alpha = 0$ / : 0,00062 ~ 0,0025

a./ ležaji upora leže u istoj visini / sl. 28 /.



Slika : 28.

Onda je : $S_{12} = S_{21}$, $S_{22} = S_{31}$ . . . $S_{(n-1)2} = S_{n1}$

i nadalje zbog trenja :

$$S_{n1} = S_{n2} \cdot e^{\mu \gamma_n} = S_{(n-1)2}$$

$$S_{(n-1)1} = S_{(n-1)2} \cdot e^{\mu \gamma_{n-1}} = S_{n2} \cdot e^{\mu(\gamma_n + \gamma_{n-1})} = S_{32}$$

$$S_{31} = S_{32} \cdot e^{\mu \gamma_3} = S_{n2} \cdot e^{\mu(\gamma_n + \gamma_{n-1} + \gamma_3)} = S_{22}$$

$$S_{21} = S_{22} \cdot e^{\mu \gamma_2} = S_{n2} \cdot e^{\mu(\gamma_n + \gamma_{n-1} + \gamma_3 + \gamma_2)} = S_{12}$$

$$S_{11} = S_{12} \cdot e^{\mu \gamma_1} = S_{n2} \cdot e^{\mu(\gamma_n + \gamma_{n-1} + \gamma_3 + \gamma_2 + \gamma_1)} = U$$

Označimo li sumu svih kuteva loma užeta na uporama izmedju utega U i napetosti S_{n2} u kratko sa :

$$\gamma_1 + \gamma_2 + \cdots + \gamma_{n-1} + \gamma_n = [\gamma] \ ,$$

bit će :

$$U = S_{n2} \cdot e^{\mu[\gamma]} \ . \qquad 111.)$$

Kod izvoda ovog snošaja koristili smo se sa formulom 44.), strana 236. U našem slučaju U je veća sila, a S_{n2} manja; $\mu = 0{,}1 \sim 0{,}3$ je koeficijenat trenja izmedju ležaja i užeta. Redovno se traži napetost S_{n2} i zbog toga preobrazuje se dalje ta formula ovako :

$$U = S_{n2} + S_{n2} \cdot e^{\mu[\gamma]} - S_{n2}$$

$$U = S_{n2} + S_{n2} \left[e^{\mu[\gamma]} - 1 \right] . \qquad 112.)$$

Poradi širokog intervala, u kojem se može kretati koeficijenat trenja, ne čini se praktički griješka, ako se izmjeni S_{n2} sa U u drugom članu s desne strane posljednje jednadžbe, dakle :

$$U = S_{n2} + U\left(e^{\mu[\gamma]} - 1\right) .$$

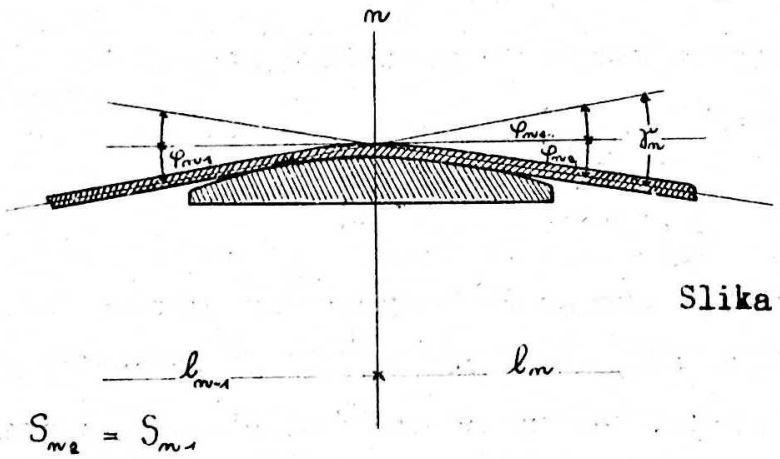
Onda će biti : $S_{m2} = \mathcal{U} - \mathcal{U}\left(e^{\mu[\gamma]} - 1\right)$. 113.)

Spušta li se uteg $\mathcal{U}$ prema dolje, S_{m2} mjerit će doista p.p. toliko. Djelovanje utega naime, dok stigne do mjesta, na kojem vlada napetost S_{m2}, smanjit će se putem za ukupni otpor na ležajima. Taj je pak izražen p.p. sa drugim članom desne strane ove jednadžbe. Gdjekad se ali postupa kod montiranja užeta ovako : Uteg leži na tlu . Uže se pričvrsti na nj, pa prevede preko upora, redom od A do B , do mjesta, na kojem će se uže s pomoću strojeva / kolotura / napeti toliko, da se uteg podigne sa tla, a uže, uz pravilan položaj utega, usidriti u tlo. Kod tog posla napetost S_{m2} treba da svlada ne samo težinu utega, nego i sav otpor trenja na ležajima medju njima. Zbog toga napetost S_{m2} može da postigne i vrijednost :

$$S_{m2} = \mathcal{U} + \mathcal{U}\left(e^{\mu[\gamma]} - 1\right) . \qquad 114.)$$

Praktički se redovno upotrebljava posljednja formula za odredjenje napetosti S_{m2}, jer ta formula daje ujedno i najveću moguću napetost u praznom užetu.-

b./ ležaji upora ne leže u istoj visini / sl. 30 /



Slika : 29.

Napetost S_{m2}, <u>ne uzima</u> li se u obzir trenje na uporama, odredjuje se po formuli 82.)ovako:

$$S_{m2} = S_{m-1}$$

$$S_{(m-1)2} = S_{m1} - g \cdot h_{m-1} = S_{m2} - g \cdot h_{m-1} = S_{(m-1)1}$$

$$S_{32} = S_{(m-1)1} - g \cdot h_{m-2} = S_{m2} - (g \cdot h_{m-1} + g \cdot h_{m-2}) = S_{31}$$

$$S_{22} = S_{31} - g \cdot h_2 = S_{m2} - (g \cdot h_{m-1} + g \cdot h_{m-2} + g \cdot h_2) = S_{21}$$

$$S_{12} = S_{21} - g \cdot h_1 = S_{m2} - (g \cdot h_{m-1} + g \cdot h_{m-2} + g \cdot h_2 + g \cdot h_1) = S_{11} = \mathcal{U}$$

Dakle je bez trenja, ako je $[h] = h_1 + h_2 + \cdots + h_{m-1}$:

$$U = S_{n2} - g[h] \quad , \quad \text{ili} \quad S_{n2} = U + g[h] \qquad 115.)$$

Uzima li se u račun trenje može se postupiti analogno kao pod a./, da se dodje do tačnog snošaja izmedju sila U i S_{n2}. Formula, izvedena na ovaj način nije ni jednostavna ni pregledna.

Odredit ćemo zbog toga taj snošaj na drugi jednostavniji način. Uzima li se trenje u račun, sila S_{n2} mjerit će :

$$S_{n2} = U + \Sigma gh + \Sigma T$$

ako pod $\Sigma T = T_1 + T_2 + \cdots + T_n$ razumijevamo trenje na ležajima upora $1, 2, \ldots n$.

Vrijednost kuta loma γ na ležaju je malena, kreće se u granicama :

$$0{,}02 \leqq \gamma \leqq 0{,}08 \ / \ \text{maksimum} \ / .$$

Zbog toga može se $e^{\mu\gamma} = 1 + \frac{\mu\gamma}{1!} + \frac{(\mu\gamma)^2}{2!} + \frac{(\mu\gamma)^3}{3!} + \ldots$

praktički dovoljno tačno izraziti sa :

$$e^{\mu\gamma} \sim 1 + \mu\gamma .$$

Općenito bit će onda :

$$S_{n2} = S_{n1} \cdot e^{\mu\gamma_n} = S_{n1}(1 + \mu\gamma_n) = S_{n1} + \mu\gamma_n S_{n1} .$$

Trenje dakle na n- toj upori mjeri :

$$T_n = \mu\gamma_n S_{n1} ,$$

a trenje na svim uporama $1, 2, \ldots n$ / sl. 30 / bit će :

$$T_1 = \mu\gamma_1 S_{11}$$

$$T_2 = \mu\gamma_2 S_{21}$$

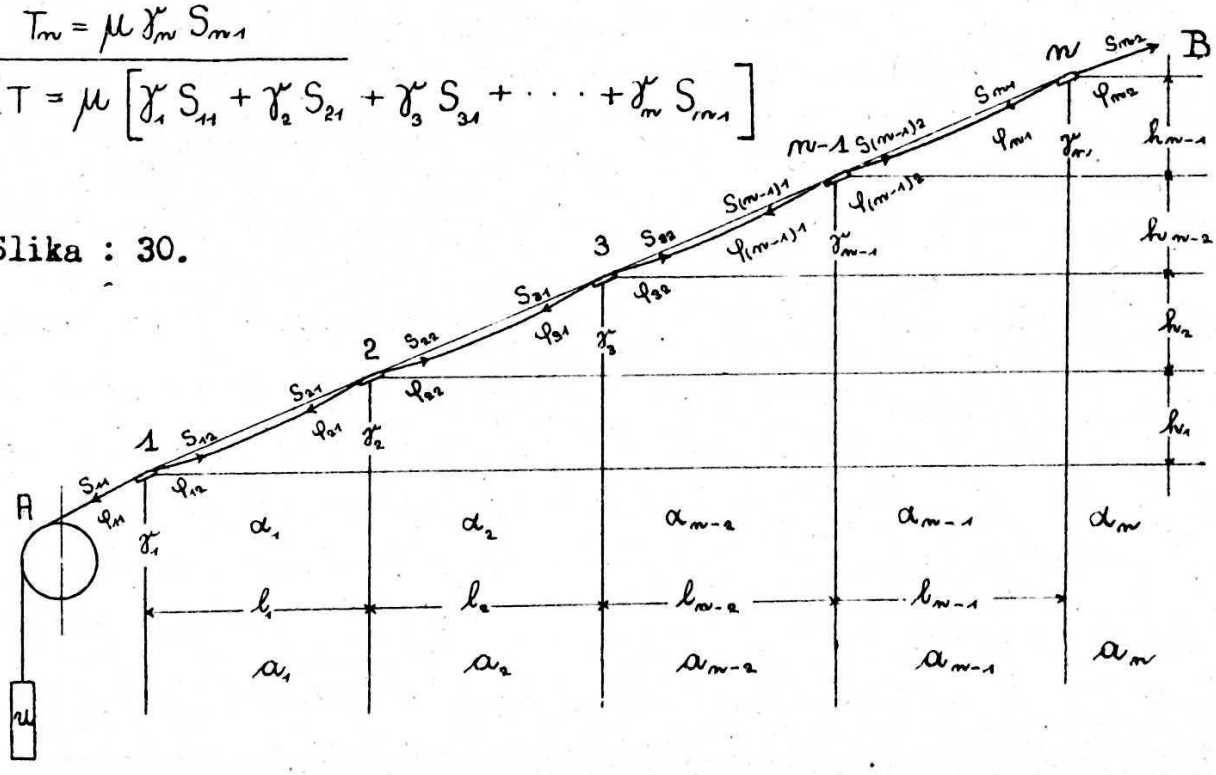
$$T_3 = \mu\gamma_3 S_{31}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots$$

$$T_n = \mu\gamma_n S_{n1}$$

$$\Sigma T = \mu\left[\gamma_1 S_{11} + \gamma_2 S_{21} + \gamma_3 S_{31} + \cdots + \gamma_n S_{n1}\right]$$

Slika : 30.



Najmanja napetost je $S_{m1} = \mathcal{U}$, a najveća S_{m2}. Ukupno trenje ležat će dakle u granicama : $\mu\,\mathcal{U}[\gamma] < \Sigma T < \mu\, S_{m2}[\gamma]$.

Označuje li S neku osrednju napetost : $\mathcal{U} < S < S_{m2}$ bit će približno i dovoljno tačno : $\Sigma T = \mu\, S[\gamma]$,

$$S_{m2} = \mathcal{U} + g[h] + \mu\, S[\gamma] \ . \qquad 116.)$$

Zbog širokog intervala, u kojem se kreće koeficijenat trenja, ne čini se praktički primjetljiva griješka, ako se analogno kao kod izvoda formule 113.) stavi $S = \mathcal{U}$. Onda je :

$$S_{m2} = \mathcal{U}\left(1 + \mu[\gamma]\right) + g[h] \ . \qquad 117.)$$

Budući je takodjer $\Sigma T = \mu \Sigma N$, ako $\Sigma N = N_1 + N_2 + \cdots + N_m$ označuje sumu pritisaka užeta na ležaje upora, to mora biti takodjer $\mu\, S[\gamma] = \mu \Sigma N$; dakle je :

$$\left.\begin{aligned} \Sigma N &= S[\gamma] \\ \text{ili} \qquad \mathcal{U}[\gamma] \leqq \Sigma N &\leqq S_{m2}[\gamma] \end{aligned}\right\} \quad 118.)$$

a pritisak na pojedinoj upori ne može biti veći od $N_m \leqq \gamma_m S_{m1}$. 119.)

c./ Odredjenje $[\gamma]$, t.j. sume kuteva loma užeta na ležajima upora.

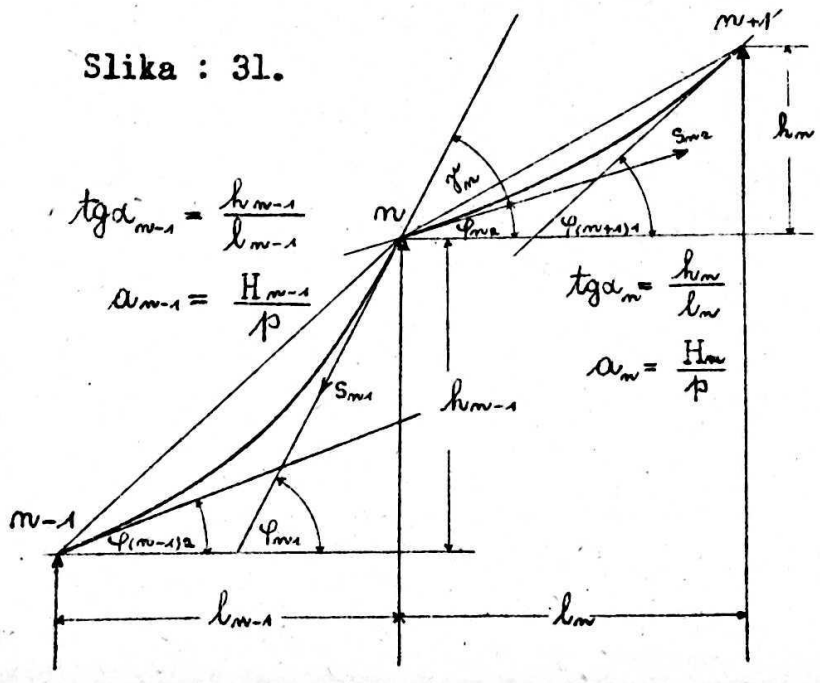
Jednadžbe 99.):

$$tg\varphi_k = tg\alpha + \frac{A}{H} \ , \quad tg\varphi_a = tg\alpha - \frac{A}{H} \ ,$$

za $\frac{A}{H} = \frac{pl}{2} \cdot \frac{1}{H} = \frac{l}{2a}$ poprimaju oblik :

$$tg\varphi_k = tg\alpha + \frac{l}{2a} \ ; \quad tg\varphi_a = tg\alpha - \frac{l}{2a} \ .$$

Primjenimo li ove formule na sliku 31, bit će



Slika : 31.

$$\left.\begin{aligned} tg\varphi_{m1} &= tg\alpha_{m-1} + \frac{l_{m-1}}{2a_{m-1}} \\ tg\varphi_{m2} &= tg\alpha_m - \frac{l_m}{2a_m} \ . \end{aligned}\right\} \quad 120.)$$

U naše svrhe / zbog velikog intervala koeficijenta trenja μ / dovoljno tačno se postupa, ako se $tg\varphi$ zamijeni sa $arc.\varphi$. Onda je :

$\gamma_m = \varphi_{m1} - \varphi_{m2}$,

a vrijednosti za φ_{m1} i φ_{m2}

mogu se uzeti iz desnih strana posljednjih jednadžbi. Iz slike 30 izlazi onda :

$$\gamma_m = \varphi_{m1} - \varphi_{m2} = tg\alpha_{m-1} + \frac{l_{m-1}}{2a_{m-1}} - \varphi_{m2} \qquad 121.)$$

$$\gamma_{m-1} = \varphi_{(m-1)1} - \varphi_{(m-1)2} = tg\alpha_{m-2} + \frac{l_{m-2}}{2a_{m-2}} - \left(tg\alpha_{m-1} - \frac{l_{m-1}}{2a_{m-1}}\right)$$

$$\gamma_3 = \varphi_{31} - \varphi_{32} = tg\alpha_2 + \frac{l_2}{2a_2} - \left(tg\alpha_{m-2} - \frac{l_{m-2}}{2a_{m-2}}\right)$$

$$\gamma_2 = \varphi_{21} - \varphi_{22} = tg\alpha_1 + \frac{l_1}{2a_1} - \left(tg\alpha_2 - \frac{l_2}{2a_2}\right)$$

$$\gamma_1 = \varphi_{11} - \varphi_{12} = \varphi_{11} - \left(tg\alpha_1 - \frac{l_1}{2a_1}\right)$$

$$[\gamma] = \varphi_{11} + 2\left[\frac{l_1}{2a_1} + \frac{l_2}{2a_2} + \cdots + \frac{l_{m-2}}{2a_{m-2}} + \frac{l_{m-1}}{2a_{m-1}}\right] - \varphi_{m2}$$

Namjesto raznih parametara $a_1 \ldots a_{m-1}$ uzimamo u račun osrednju njihovu vrijednost a. Onda je :

$$[\gamma] = \varphi_{11} + \frac{1}{a}\left(l_1 + l_2 + \cdots + l_{m-1}\right) - \varphi_{m2} .$$

Označimo li sumu $(l_1 + l_2 + \cdots + l_{m-1})$ kraće sa $[l]$, i stavimo li opet $tg\varphi_{11}$ i $tg\varphi_{m2}$ namjesto φ_{11} i φ_{m2} bit će konačno :

$$[\gamma] = tg\varphi_{11} - tg\varphi_{m2} + \frac{[l]}{a} . \qquad 122.)$$

d./ Rekapitulacija. Za odredjenje prazne užnice kontinuiranog užeta nosača stoje nam na raspoloženju ove formule :

Ako S_m označuje maksimalnu napetost u užetu / prije S_{m2} / bit će :

$$S_m = U + U\left(e^{\mu[\gamma]} - 1\right) \qquad 114.)$$

i to u slučaju, ako ležaji upora leže posve ili približno u istoj visini.

$$S_m = U\left(1 + \mu[\gamma]\right) + g[h] , \qquad 117.)$$

ako ležaji upora ne leže u istoj visini.

$[\gamma]$ označuje sumu kuteva loma užeta na uporama, koje leže izmedju utega i napetosti S_m, a odredjuje se iz ove formule :

$$[\gamma] = tg\varphi_{11} - tg\varphi_{m2} + \frac{1}{a}[l] . \qquad 123.)$$

$tg\varphi_{11}$ označuje nagib užeta pred prvom uporom iza utega; $tg\varphi_{m2}$ je nagib napetosti S_m/ sl.30 /. $[h]$ je suma visinskih razlika ležaja, a

$[l]$ je suma njihovih horizontalnih razmaka. a je osrednji parametar, dakle parametar polja osrednje visinske razlike h i osrednjeg raspona l.

Pritisak užeta na m - toj upori mjeri :

$$N \leqq \gamma_m S_{m1}, \qquad 124.)$$

a pritisak užeta na svim uporama izmedju utega U i sile S_m mjeri $\Sigma N = \Sigma \gamma_m S_{m1}$, te se kreće u granicama :

$$U[\gamma] \leqq \Sigma N \leqq S_m[\gamma] .$$

Ukupno trenje na svim uporama iznosi dakle :

$$\mu \Sigma N = \mu \Sigma \gamma_m S_{m1}$$

te se kreće u granicama :

$$\mu U[\gamma] \leqq \mu \Sigma N \leqq \mu S_m[\gamma] .$$

Praktički se zbog toga često postupa i tako, da se najprije odredi najveća napetost S_{om} bez trenja, te ovoj doda naknadno utjecaj trenja na ležajima, po formuli :

$$S_m = S_{om} + \mu \Sigma S_{m1} \gamma_{m1} \qquad 125.)$$

Osim toga potrebno je obazrijeti se još i na ove empiričke podatke :

Parametar užnice šumskih žičara kreće se u granicama :

$$4000 \leqq a \leqq 5000\ m. \qquad 126.)$$

Čim je uže jače napeto parametar je veći. Težina utega iznosi :

$$U = 10 \sim 20P, \qquad 127.)$$

ako P označuje brutto opterećenje jednih kolica.

Označuje li nadalje Q pritisak jednog točka kolica, a m broj točkova jednih kolica, osrednja napetost S u užetu mjeri :

$$\left.\begin{array}{lll} \text{za} & m = 4 & S = 40 \sim 80\,Q \\ \text{za} & m = 8 & S = 80 \sim 160\,Q \end{array}\right\} \quad 128.)$$

Za uže nosač šumskih žičara, na kome se otprema teret, vrijede p.p. snošaji :

$$\left.\begin{array}{lll} & & U \sim 15P \\ \text{za} & m = 4 & S \geqq 60\,Q \\ \text{za} & m = 8 & S \geqq 120\,Q \end{array}\right\} \quad 129.)$$

Uže se razapinje sa 3 do 5 - terostrukom sigurnošću :

$$S_B = 3 \sim 5\, S_m . \qquad 130.)$$

Kut loma praznog užeta na ležaju upore kreće se u granicama

$$0{,}02 \leqq \gamma \leqq 0{,}08 \qquad 131.)$$

Vrijednost 0,08 ne valja prekoračiti / u suprotnom slučaju uže gubi

na elastičnosti /, ako je pak $\gamma < 0{,}02$, potrebno je uže učvrstiti na ležaj sa zgodnim obimkama, da ne ispada. Suma svih kuteva loma može da mjeri :

$$[\gamma] \leqq 40^\circ \sim 50^\circ = 0{,}698 \sim 0{,}873 . \qquad 132.)$$

Da se taj iznos ne premaši prekida se uže u razmacima od 1,3 do 3 km sa stanicama za razapinjanje i fiksiranje užeta.

13. Primjer . Na slici 32 predočen je uzdužan profil jednog dijela njeke žičare. U tački 1. / profil 0+0 / izlazi uže iz stanice, na kojoj je napeto s pomoću utega. Prvo polje ① ima najveći raspon / $\ell_1 = 309{,}5$ m / ; rasponi daljnjih polja sve su manji, a najmanji počinju kod upore 5 , mjere tek 3,0 m , jer na tom mjestu žičara prelazi preko hrpta brijega. Na najvišoj tački na tom hrptu / upora 11 / završava naš dio žičare.- Ovakav nacrt izradjuje se u jednakom mjerilu za dužine i visine, redovno 1 : 1000 . Na slici 32 upotrebljena su tri razna, anormalna mjerila, jedno zbog skučenosti prostora, drugo zbog boljeg pregleda u naše svrhe. Računajući polazimo redom p.p. kojim se ide kod osnivanja žičara.

Osim podataka ubilježenih u samom nacrtu zadano je još ovo :

Brutto težina jednog voza žičare sa $P = 1{,}6^t$ / analizu ovog opterećenja vidi u tački 4, str.342 /.

Nagib užeta pred uporom 1 / do utega / mjeri $tg\varphi_{11} = 0{,}33636$.

Nagib užeta iza upore 11 , $tg\varphi_{112} = -0{,}026667$ / negativan predznak, jer se uže ne diže, nego spušta iza upore 11 /.

Težinu utega odmjerujemo po formuli 129.) sa

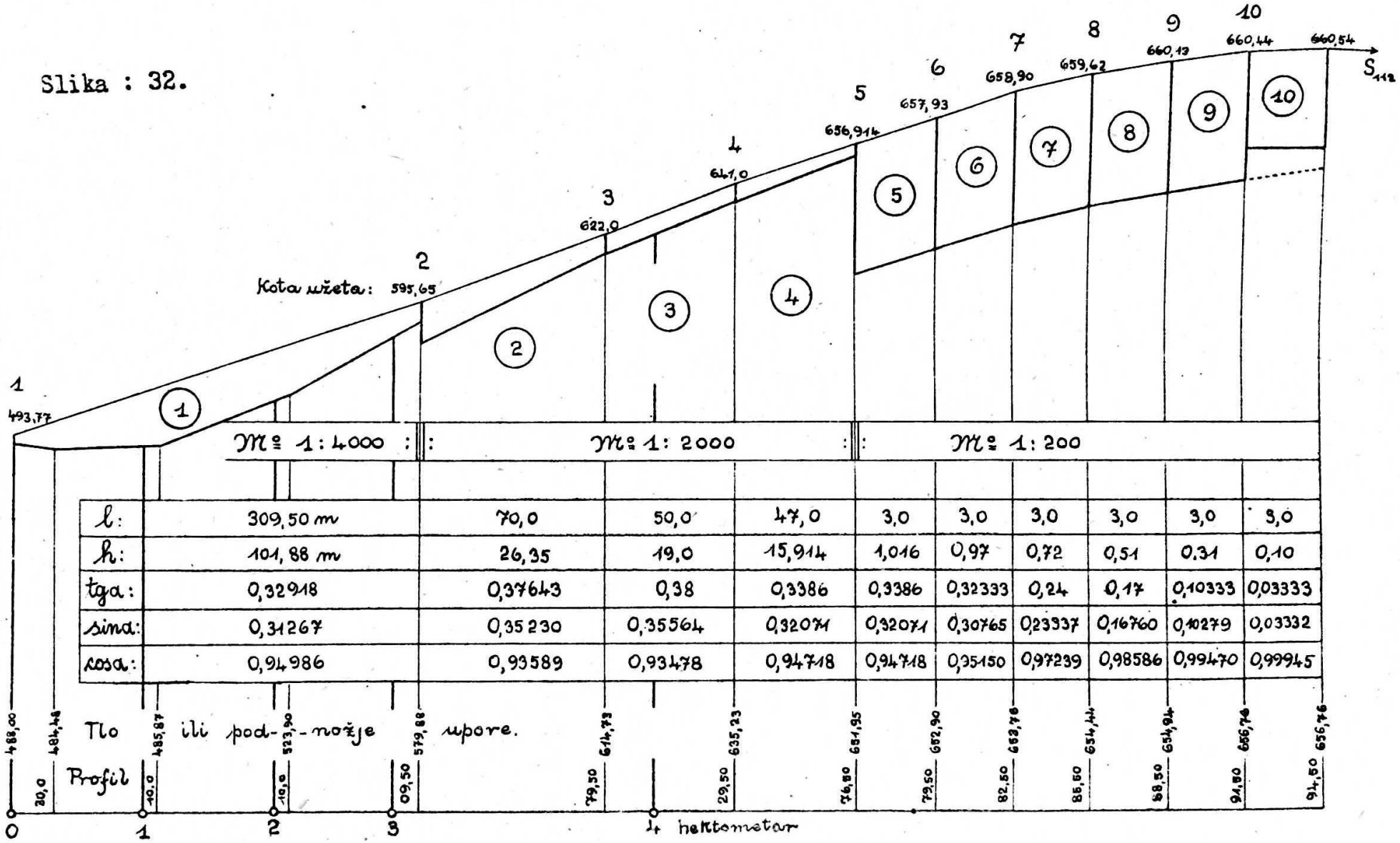
$$U = 15P = 15 \times 1{,}6 = 24^t$$

Pretpostavljamo kao nosač spiralno uže čvrstoće proti potezanju $\sigma_B = 14.500$ kg/cm^2, sukano od 37 žica, za sad još nepoznatog promjera. Dužina kidanja takovog užeta je konstantan broj i mjeri $R = 17150$ m. / isp. tablicu 1., str.221 /. Jedinična težina užeta, uz četverostruku sigurnost / $s = 4$ / treba onda da mjeri / isp.for 87

$$g = \frac{sS}{R} \sim \frac{sU}{R} = \frac{4 \times 24.000}{17.150} = 5{,}6 \text{ kg/m.}$$

Ovim uvjetima odgovara otvoreno spiralno uže promjera $d = 34$ mm,

Slika : 32.



l:	309,50 m	70,0	50,0	47,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
h:	101,88 m	26,35	19,0	15,914	1,016	0,97	0,72	0,51	0,31	0,10
tga:	0,32918	0,37643	0,38	0,3386	0,3386	0,32333	0,24	0,17	0,10333	0,03333
sina:	0,31267	0,35230	0,35564	0,32071	0,32071	0,30765	0,23937	0,16760	0,10279	0,03332
cosa:	0,94986	0,93589	0,93478	0,94718	0,94718	0,95150	0,97239	0,98586	0,99470	0,99945

sukano od 37 žica promjera δ = 4,8 mm , teško g = 5,7 kg/m , sa najvećom napetošću / na granici čvrstoće potezanja / S_B = 97.120 kg.

A. Ispitanje napetosti u praznom užetu nosaču.

a./ Prvi približni i najjednostavniji način.

Odredjenje osrednjeg parametra trase.

Napetost užeta u sredini prvog polja mjeri po formuli 109.) / ako se zanemari trenje na upori 1 /:

$$S_{f_1} = u + \frac{g h_1}{2} = 24.000 + \frac{1}{2} 5,7 \times 101,88 = 24290 \text{ kg}$$

$$H_1 = S_{f_1} \cdot \cos\alpha_1 = 24290 \times 0,94986 = 23072 \text{ kg}$$

$$a_1 = \frac{H_1}{g} = \frac{23072}{5,7} = 4048 \text{ m.}$$

Napetost užeta S_{112} / iza posljednje upore 11 / mjeri pak po for. 115.):

$$S_{112} = u + g[h] = 24.000 + 5,7(660,54 - 493,77) = 24,951 \text{ kg.}$$

U posljednjem polju ⑩ , u sredini raspona, zbog neznatne visinske razlike ležaja i malog raspona bit će :

$$S_{f_{10}} \sim S_{112} = 24,951 \text{ kg}$$

dakle :

$$H_{10} = S_{f_{10}} \cos\alpha_{10} = 24951 \times 0,99945 = 24937 \text{ kg}$$

$$a_{10} = \frac{H_{10}}{g} = \frac{24937}{5,7} = 4375 \text{ m.}$$

Osrednji parametar cijelog poteza mjeri :

$$a = \frac{1}{2}(a_1 + a_{10}) = \frac{1}{2}(4048 + 4375) = 4212 \text{ m.}$$

Odredjenje najveće napetosti u užetu uzimajući u račun i trenje na ležajima upora.

Po formuli 123.) je :

$$[\gamma] = tg\varphi_{11} - tg\varphi_{112} + \frac{1}{a}[l]$$

$$= 0,33636 + 0,02667 + \frac{494,5}{4212} = 0,48043.$$

Uz vrijednost koeficijenta trenja μ = 0,1 , je

$$\mu[\gamma] = 0,1 \times 0,48043 = 0,048043$$

a po formuli 117.):

$$S_m = S_{112} = u(1 + \mu[\gamma]) + g[h]$$

$$= 24000 \times 1,048043 + 5,7 \times 166,77 = 26104 \text{ kg.}$$

b./ Drugi, tačniji i manje jednostavan način.

Tragajući najveću napetost u užetu idemo redom od polja do polja ovako :

Polje ① $gh_1 = 5,7 \times 101,88 = 581$; $\frac{1}{2}gh_1 = 290$

$S_1 \sim u = 24000$; $S_1 = u \sim 24000$

$S_2 = S_1 + gh_1 = 24581\,kg$; $S_{f_1} = S_1 + \frac{1}{2}gh_1 = 24290\,kg.$

$H_1 = S_{f_1} \cdot \cos\alpha_1 = 24290 \times 0,94986 = 23072\,kg$

$a_1 = \frac{H_1}{g} = \frac{23072}{5,7} = 4048\,m.$ $\quad tg\alpha_1 = 0,32918$

$\frac{l_1}{2a_1} = \frac{309,5}{8096} = 0,03823$

$tg\varphi_{11} = 0,33636$

$tg\varphi_{12} = 0,29095$

$\gamma_1 = \varphi_{11} - \varphi_{12} \sim 0,04541$ $\quad tg\varphi_{12} = tg\alpha_1 - \frac{l_1}{2a_1} = 0,29095$

$tg\varphi_{21} = tg\alpha_1 + \frac{l_1}{2a_1} = 0,36741$

(isp. form. 120)

Polje ② $gh_2 = 5,7 \times 26,35 = 150$; $\frac{1}{2}gh_2 = 75$

$S_2 = 24581$; $S_2 = 24581$

$S_3 = 24731\,kg$; $S_{f_2} = 24656\,kg.$

$H_2 = S_{f_2} \cdot \cos\alpha_2 = 24656 \times 0,93589 = 23075\,kg.$

$a_2 = \frac{23075}{5,7} = 4048\,m.$ $\quad tg\alpha_2 = 0,37643$

$\frac{l_2}{2a_2} = \frac{70}{8096} = 0,00865$

$tg\varphi_{21} = 0,36741$

$tg\varphi_{22} = 0,36778$

$\gamma_2 = \varphi_{21} - \varphi_{22} \sim -0,00037$ $\quad tg\varphi_{22} = tg\alpha_2 - \frac{l_2}{2a_2} = 0,36778$

$tg\varphi_{31} = tg\alpha_2 + \frac{l_2}{2a_2} = 0,38508.$

Na jednaki način postupismo u svakom daljnjem polju, a rezultate iznijesmo u tablici 5. Najveća napetost mjeri onda po formuli 125.):

$$S_m = S_{112} = S_{om} + \mu \Sigma S_m \gamma_m$$
$$= 24951 + 1206 = 26.157\,kg.$$

Ovaj način je dužetrajniji, no zato tačniji. Osim napetosti odredjuje

još i pritisak užeta $N = \gamma S$ na svakoj upori napose; taj pak treba poznavati, da se može konstruirati ležaj a i sama upora / isp. posljednji stupac tablice 5 , u kome su ti pritisci izračunati po formuli 119.), pa iskazani /. Konačno odredjuje kut loma užeta γ na svakom ležaju takodjer napose. Taj je kut ograničen po iskustvu odmjerenim granicama / isp. form. 131.)/. Budući je vrijednost toga kuta na pr. na uporama 2, 3, 5 i 6 puta manja od dozvoljene donje granice $\gamma = 0{,}02$, trebat će uže pričvrstiti obuhvatnim skobama na ležaje tih upora, da se spriječi izdizanje ili ispadanje užeta. Na upori 2 taj je kut dapače negativan, znači, uže ne leži u ležaju bez skoba uopće, jer se lomi prema gore nad tom uporom / isp. nacrt $tg\alpha_2 > tg\alpha_1$ /. Pozitivna i negativna vrijednost kuta γ jednako utječe na trenje ; uz pozitivnu vrijednost tare se uže o ležaj, uz negativnu pak o obuhvatne skobe : u jednom i drugom slučaju kut γ doprinosi trenju i zbog toga ulaze u sumu tek apsolutni iznosi tih kuteva. Kuteve loma $\gamma < 0{,}02$ svakako valja izbjegavati. Ležaji upora 2, 3, 5, i 6 ne leže na ispravnoj visini u ovom primjeru, a jednako ni upora 7, jer pokazuje nješto veću vrijednost kuta γ / 0,08405 / od dozvoljene / 0,08 / .

c / Treći, još tačniji način. Napetost užeta odredili smo dosada tako, da smo najprije pronašli njezinu vrijednost bez trenja u svakom polju, a utjecaj trenja pridolazi tek naknadno. Tačnije se pak postupa, ako se utjecaj trenja uzme u račun već kod prvog odredjenja napetosti i to redom od polja do polja p.p. ovako :

Polje ① $gh_1 = 5{,}7 \times 101{,}88 = 581\ kg$. $\quad \frac{1}{2}gh_1 = 290$

$S_{12} \sim u = 24.000$

$S_{f,1} = S_{12} + \frac{1}{2}gh_1 = 24.290\ kg$

$H_1 = S_{f,1} \cdot \cos\alpha_1 = 24.290 \times 0{,}94986 = 23.072\ kg.$

$\alpha_1 = \frac{H_1}{g} = \frac{23.072}{5{,}7} = 4048\ m.$ $\quad tg\alpha_1 = 0{,}32918$

$\frac{l_1}{2a_1} = \frac{309{,}5}{8096} = 0{,}03823$

$tg\varphi_{12} = tg\alpha_1 - \frac{l_1}{2a_1} = 0{,}29095$

$tg\varphi_{21} = tg\alpha_1 + \frac{l_1}{2a_1} = 0{,}36741$

$tg\varphi_{11} = 0{,}33636$ (zadano)

$tg\varphi_{12} = 0{,}29095$

$\gamma_1 = tg\varphi_{11} - tg\varphi_{12} \sim 0{,}04541$

T a b l i c a 5. Prazno uže / postupak b. /.

Stup	Polje	g	gh_m	H_m	a_m	$\frac{l_m}{2a_m}$	$tg\varphi_{m1}$	$tg\varphi_{m2}$	γ_m	S_m	$N=\gamma_m S_m$
1		5,7					0,33636	0,29095	0,04542	24000	1090
	①		581	23072	4048	0,03823					
2							0,36741	0,36778	$\overline{0,00038}$	24581	$\overline{9}$
	②		150	23075	4048	0,00865					
3							0,38508	0,37385	0,01123	24731	278
	③		108	23169	4065	0,00615					
4							0,38615	0,33292	0,05323	24839	1322
	④		91	23570	4135	0,00568					
5							0,34428	0,33824	0,00605	24930	151
	⑤		6	23616	4143	0,00036					
6							0,33896	0,32297	0,01599	24936	399
	⑥		5	23729	4163	0,00036					
7							0,32369	0,23965	0,08405	24941	2096
	⑦		4	24254	4255	0,00035					
8							0,24035	0,16965	0,07070	24945	1764
	⑧		3	24593	4315	0,00035					
9							0,17035	0,10299	0,06736	24948	1680
	⑨		2	24817	4354	0,00035					
10							0,10368	0,03299	0,07069	24950	1764
	⑩		1	24936	4375	0,00034					
11							0,03368	$\overline{0,02667}$	0,06034	24951	1506
Suma:			951	238831	41901	0,06082			0,48544		12059
Prosjek:				23883	4190						

$\left[\frac{l}{a}\right] = 0,12164$ $\qquad \mu\Sigma S\gamma = \mu\Sigma N = 1206$

Uzevši u račun i trenje najveća napetost mjeri po formuli 125 :

$$S_{112} = S_{11} + \mu\Sigma S\gamma = U + \Sigma gh + \mu\Sigma S\gamma$$

$$S_{112} = \underbrace{24000 + 951}_{24951} + 1206 = 26157\ kg.$$

$\mu\gamma_1 = 0{,}1 \times 0{,}04541 = 0{,}00454$

$S_{12} = \mathcal{U}(1+\mu\gamma_1) = 24.000 \times 1{,}00454 = 24109$

$gh_1 = 581$

$S_{21} = S_{12} + gh_1 = 24690\ kg.$

S_{11} je napetost u užetu lijevo od upore 1 , a S_{12} je napetost u užetu desno od te upore / analogno je S_{21} napetost u užetu lijevo od upore 2 itd. /. Poradi trenja na ležaju, te napetosti nijesu jednako velike, kao što smo u prijašnjim postupcima pretpostavili i zbog toga obilježili ih tamo sa istom oznakom S_1 .

Polje ② $gh_2 = 5{,}7 \times 26{,}35 = 150\ kg$; $\frac{1}{2}gh_2 = 75$

$S_{22} \sim S_{21} = 24690$

$S_{f_2} = 24.765\ kg.$

$H_2 = S_{f_2} \cdot \cos\alpha_2 = 24765 \times 0{,}93589 = 23.177\ kg$;

$a_2 = \frac{H_2}{q_0} = \frac{23177}{5{,}7} = 4066\ m.$ $\quad tg\alpha_2 = 0{,}37643$

$\frac{l_2}{2a_2} = \frac{70}{8132} = 0{,}00861$

$tg\varphi_{21} = 0{,}36741$ $\quad tg\varphi_{22} = tg\alpha_2 - \frac{l_2}{2a_2} = 0{,}36782$

$tg\varphi_{22} = 0{,}36782$ $\quad tg\varphi_{31} = tg\alpha_2 + \frac{l_2}{2a_2} = 0{,}38504$

$\gamma_2 = \varphi_{21} - \varphi_{22} \sim -0{,}00042$; $\mu\gamma_2 = 0{,}1 \times 0{,}00042 = 0{,}00004$;

$S_{32} = S_{21}(1+\mu\gamma_2) = 24690 \times 1{,}00004 = 24691$

$gh_2 = 150$

$S_{31} = S_{22} + gh_2 = 24.841\ kg.$

itd. postupajući obašli smo redom sva polja, a dobivene rezultate pregledno iznijeli u tablici 6. Iz te tablice izlazi maksimalna napetost u užetu $S_m = S_{11} = 26181$ kg. prema $S_m = 26157$ kg. po postupku b./ i $S_m = 26104$ kg. po postupku a./.- Diferencije nijesu velike. Zbog toga praktički redovno se postupa samo po postupku a./ i b./.-

B. Ispitivanje napetosti u <u>punom</u> užetu.

Iz priloženih tablica i dosadanjeg računa se vidi, da napetosti u praznom užetu rastu sa udaljenošću polja od utega $\mathcal{U}$ / od upore 1 /. U našem primjeru putuje pokretan teret po užetu nosaču <u>neposredno</u> samo na potezu 1 do 5. / Na potezu 5 do 11 prelazi uže preko hrpta brijega, a

T a b l i c a 6. Prazno uže / postupak c. /.

Stup	Polje	g	gh_m	H_m	a_m	$\frac{l_m}{2a_m}$	$tg\varphi_{m1}$	$tg\varphi_{m2}$	γ_m	S_{m1}	S_{m2}	$N=\gamma_m S_{m1}$
1							0,33636	0,29095	0,04542	24000	24109	1090
	①	5,7	581	23072	4048	0,03823						
2							0,36741	0,36782	$\bar{0},00042$	24690	24691	$\bar{1}0$
	②		150	23177	4066	0,00861						
3							0,38504	0,37399	0,01104	24841	24868	274
	③		108	23721	4162	0,00601						
4							0,38601	0,33295	0,05306	24976	25109	1325
	④		91	23699	4158	0,00565						
5							0,34425	0,33824	0,00601	25200	25215	151
	⑤		6	23872	4188	0,00036						
6							0,33896	0,32298	0,01598	25221	25261	403
	⑥		5	24001	4211	0,00036						
7							0,32369	0,23965	0,08404	25266	25478	2123
	⑦		4	24570	4310	0,00035						
8							0,24035	0,16966	0,07069	25482	25662	1801
	⑧		3	25122	4407	0,00034						
9							0,17034	0,10300	0,06734	25666	25839	1728
	⑨		2	25531	4479	0,00034						
10							0,10367	0,03300	0,07067	25841	26024	1826
	⑩		1	25827	4531	0,00033						
11							0,03366	$\bar{0},02667$	0,06033	26024	26181	1570
Suma:			951	242592	42560	0,06058			0,48500			12301
Prosjek:				24259	4256							
					$\left[\frac{l}{a}\right] = 0,12116$							$\mu \cdot \Sigma N = 1230$

pokretan teret preko visećih šinja montiranih uz uže /. Od upore 1 do upore 5 pokazuje pak prazno uže najveću napetost u polju ④. Zbog toga ispitujemo puno uže, kad se pokretan teret P nalazi u tom polju.

Pokretan teret putuje na našoj žičari u razmacima od 480 m / vremenski razmak od 240 sekunda /. Na našem potezu može se dakle nalaziti istodobno samo taj jedan teret. Račun se sprovodi praktički dovoljno tačno opet po prije opisanom postupku b./ t.j. predhodno bez obzira na trenje. Do upore 4. narasla je na taj način napetost u užetu na iznos / isp. tablicu 5. / :

$$S_4 = U + \sum_1^4 g \cdot h = 24000 + 839 = 24839 \text{ kg}.$$

Zbog utega ta se napetost po veličini ne može promijeniti ni onda, kad se u tom (4) polju nalazi i pokretan teret P . Mijenja joj se tek smjer. Nasuprot napetost S_5 promijenit će se kao po smjeru tako i po veličini pod teretom P prema istoimenoj napetosti praznog užeta u tom polju. Odredjuje se pak na način, protumačen u tački 4e/. Po formuli 101.) najprije je :

$$A = \frac{1}{2}(g \cdot l + P)^{*)} = \frac{1}{2}(5{,}7 \times 47 + 1600) = 934 \text{ kg}$$

$$\frac{A}{S_4}\cos\alpha_4 = \frac{934}{24839} \cdot 0{,}94718 = 0{,}03562$$

$$\sqrt{1 - \left(\frac{A}{S_4}\cos\alpha_4\right)^2} = \sqrt{1 - 0{,}03562^2} = 0{,}99937$$

a onda (101):

$$S_{f_4} = \frac{H_4}{\cos\alpha_4} = S_4\sqrt{1 - \left(\frac{A}{S_4}\cos\alpha_4\right)^2} + A \cdot \sin\alpha_4$$

$$= 24839 \times 0{,}99937 + 934 \times 0{,}32071 = 25123 \text{ kg}.$$

$$H_4 = 25123 \times 0{,}94718 = 23796; \qquad tg\alpha_4 = 0{,}33860$$

$$S_5 = H_4\sqrt{1 + tg^2\varphi_{s1}} \qquad \frac{A}{H_4} = \frac{934}{23796} = 0{,}03925$$

$$S_5 = 23796\sqrt{1 + 0{,}37785^2} \qquad tg\varphi_{42} = tg\alpha_4 - \frac{A}{H_4} = 0{,}29935$$

$$S_5 = 25438 \text{ kg} \qquad tg\varphi_{s1} = tg\alpha_4 + \frac{A}{H_4} = 0{,}37785$$

U ostalim poljima račun se odvija na način pokazan pod tačkom A b/. Pregledno iznešen je taj račun zajedno sa rezultatima u tablici 7a i 7b. Za napetost S_{ma} s desne strane svake upore iskazane su u toj tablici tri vrijednosti. Prva bez trenja, a druge dvije sa trenjem. Teret P , stigavši u polje (4) naime, pritiskuje uže i povećaje njegov

*) namjesto p tačnije se uzima u račun g , analogno prema formuli 108.) i rečenom uz nju.

T a b l i c a 7a. **Puno uže .**

Upora	Polje	gh_m	S_m	$\frac{gh_m}{2}$	S_{f_m}	$\cos\alpha_m$	H_m	a_m	$tg\,\alpha_m$	l_m	$\frac{l}{2a_m}$
1			24000								
	①	581		290	24290	0,94986	23072	4048	0,32918	309,5	0,03823
2			24581								
	②	150		75	24656	0,93589	23075	4048	0,37643	70	0,00865
3			24731								
	③	108		54	24785	0,93478	23169	4065	0,38000	50	0,00615
4			24839								
	④	91		45	25123	0,94718	23796	·	0,33860	47	0,03925
5			25438								
	⑤	6		3	25441	0,94718	24097	4228	0,33860	3	0,00036
6			25444								
	⑥	5		3	25447	0,95150	24213	4248	0,32333	3	0,00035
7			25449								
	⑦	4		2	25451	0,97239	24748	4342	0,24000	3	0,00035
8			25453								
	⑧	3		1	25454	0,98586	25094	4402	0,17000	3	0,00034
9			25456								
	⑨	2		1	25457	0,99470	25322	4442	0,10333	3	0,00034
10			25458								
	⑩	1		0	25458	0,99945	25444	4464	0,03333	3	0,00034
11			25459								
Suma		951		474			242030			494,5	0,09436
					Prosjek:		24203	4246		$\left[\frac{l}{a}\right]$ = 0,18872	

T a b l i c a 7b. Puno uže .

$tg\varphi_{m1}$	$tg\varphi_{m2}$	γ_m	$N=\gamma_m S_m$	μN_m	$\mu \Sigma N$	Napetost S_{m2} bez trenja	Napetost S_{m2} s trenjem max.	Napetost S_{m2} s trenjem min	Polje	Uporaba
0,33636	0,29095	0,04541	1090	109	109	24000	24109	24109		1
									(1)	
0,36741	0,36778	$\bar{0}$,00037	$\bar{9}$	$\vec{1}$	110	24581	24691	24691		2
									(2)	
0,38508	0,37385	0,01123	278	28	138	24731	24869	24869		3
									(3)	
0,38615	0,29935	0,08680	2156	216	354	24839	25193	25193		4
								+354 - 101	(4)	
0,37785	0,33824	0,03961	1007	101	455	25438	25893	25691		5
								+354 - 142	(5)	
0,33896	0,32298	0,01598	406	41	496	25444	25940	25656		6
								+354 - 356	(6)	
0,32369	0,23965	0,08403	2139	214	710	25449	26159	25447		7
								+354 - 536	(7)	
0,24035	0,16966	0,07069	1799	180	890	25453	26343	25271		8
								+354 - 707	(8)	
0,17034	0,10299	0,06735	1714	171	1061	25456	26517	25103		9
								+354 - 887	(9)	
0,10367	0,03300	0,07067	1799	180	1241	25458	26699	24925		10
								+354 - 1041	(10)	
0,03367	$\bar{0}$,02667	0,06034	1536	154	1395	25459	26854	24772		11
Suma:		0,55248	13933	1395						

pregib tako dugo, dok ne nastupi ravnoteža. Uže se produži u tom polju. Produžit će se pak po svoj prilici na račun lijevih polja / 3,2,1 / jer je $S_{42} = 25193 < S_{51} = 25438 + 354 = 25792$. S lijeve strane uže će lakše svladati sve otpore, pokliznuti po ležajima i produžiti se na dužinu potrebnu za ravnotežu. Čim je ali ta postignuta, umiri se i uže. Miruje li pak ovo, zbog trenja padat će na suprotnoj strani napetost u užetu od upore do upore i to počevši od upore 5 pa dalje na desno p.p. na način, kako pokazuju vrijednosti iskazane u tablici 7b. u stupcu S_{m2} min. Nalazi li se ali istodobno još i drugi teret P' na užetu, onkraj hrpta 280 m daleko od našeg tereta P, može se desiti da će pritisak tereta P' djelovati sve do našeg polja ④. Najveće napetosti u užetu izmedju jednog i drugog tereta mogu porasti u tom slučaju do iznosa iskazanih u stupcu S_{m2} max. Sigurno postupamo dakle, ako uzimamo, da najveća napetost u užetu na našem potezu uopće može da segne do iznosa / isp. tabl. 7b / :

$$S_m = 26854 \text{ kg.}$$

kod upore 11, a istodobno pod pritiskom voza $P = 1600$ kg u polju ④ sa iznosom $S'_m = S_{f4} + \mu \sum_1^4 N = 25123 + 354 = 25477 \text{ kg}$.

Na temelju ovih vrijednosti uže je napeto proti čistom naprezanju potezanja sa sigurnošću

$$s = \frac{S_B}{S_m} = \frac{97120}{26854} = 3{,}6$$

a najveće složeno naprezanje / potezanje + pregib / pod točkom težine $Q = \frac{1}{4}P = 400 \text{ kg}$ mjeri :

$$\sigma = \sigma_m + \sigma_p$$

$$\sigma_m = \frac{S'_m}{F_m} = \frac{25477}{37 \cdot \frac{\pi \cdot 0{,}48^2}{4}} = \frac{25477}{6{,}69} = 3808 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_p = \frac{Q}{F_m}\sqrt{\frac{E}{\sigma_m}} = \frac{400}{6{,}69}\sqrt{\frac{2.150.000}{3808}} = 1421 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma = 3808 + 1421 = 5229 \text{ kg/cm}^2$$

Koeficijenat sigurnosti u posljednjem slučaju mjeri :

$$s = \frac{\sigma_B}{\sigma} = \frac{14500}{5229} = 2{,}77 \text{ .}$$

/ isp. poglavlje " Žično uže " form. 10.) i 11.), zatim ovo poglavlje tačku 4 /.-

14. Pogonsko uže i pogon. Moderne žičare pogoni redovno beskonačno pogonsko uže. Iznimku čini kratko čekrk - točilo, koje pogoni gdjekad i otvoreno pogonsko uže. Upotrebljava se pak isključivo istosmjerno sukano uže /Albertov način, isp. str. 227 / sa žicama čvrstoće $\sigma_B = 14500$ kg/cm^2 i promjera $\delta = 1 \sim 2$ mm. Sa debljinom i čvrstoćom žice pada gipkost užeta. Zbog toga odabire se promjer δ to manji, što je veći broj vitala, skretnih točkova i valjčića, kojima uže treba da prolazi. Isporučuje se u komadima dužine $600 \sim 800\, d$ / d = promjer užeta /, koje treba spajati u cjelinu na licu mjesta, na način opisan na str. 221. Pogonsko uže šumskih žičara općenito se napinje sa koeficijentom sigurnosti $s = 6$, čekrk-žičara sa $s = 5$, a uzima li se još u račun i naprezanje pregibanja na vitlu, sprovodnim točkovima itd., sa $s = 4$.

Općenito vlada u pogonskom užetu napetost :

$$S = S_u + S_h + S_k + S_t + S_i \quad . \qquad 133.)$$

S_u je napetost zbog djelovanja utega (U_1). Redovno se stavlja :

$$S_u = (600 \sim 800)\, g_1 \qquad 134.)$$

ako g_1 označuje težinu pogonskog užeta po tekućem metru. / Redovno je $U_1 = 500 \sim 1000$ kg /.

S_h je napetost zbog visinske razlike $[h]$ jednog i drugog kraja užeta. Po formuli 115 je dakle $S_h = g_1 [h]$. 135.)

S_k je sila, s kojom poteže pogonsko uže na užetu nosaču ovješena kolica. Prema slici 13, str. 252 je dakle :

$$S_k = [K \cdot \sin\varphi] \qquad 136.)$$

Sa slovom K općenito smo označili težinu kolica. Ako su ova prazna, bit će dakle $K = T$ / tara /, ako su pak puna, bit će $K = B$ / brutto / $= T + N$ / netto /.

S_t je napetost, nastala zbog trenja žičare u pogonu. Analogno prema tački 6, str. 252, bilo bi dakle : $S_t = \left([K \cos\varphi] + g_1 [l]\right)\mu$. Zbog nestalne vrijednosti koeficijenta trenja μ, a i drugih još raznih pojava, koje utječu na otpor gibanja, redovno se stavlja :

$$S_t = \left([K] + g_1 [l]\right)\mu \qquad 137.)$$

Vrijednost koeficijenta trenja uzima se u račun sa $\mu = 0{,}015 \sim 0{,}02$ kod žičara već uigranih, a $\mu = 0{,}025 \sim 0{,}03$ kod novih.

S_i je napetost zbog impulza stroja / kočnice /, koji pokreće žičaru. Analogno prema rečenom na str. 257, bit će dakle, ako je

$$\frac{p}{g} = \frac{0{,}3}{9{,}87} \sim 0{,}03 \ ,$$

$$S_i = \left([K] + g_1[l]\right) 0{,}03 \ . \qquad 138.)$$

Već prema nagibu užeta i načinu pogona pojedini članovi jednadžbe 133.) mogu biti pozitivni i negativni. Za svaku granu užeta treba zasebno postaviti tu jednadžbu. Ako je dakle S_1 po jednadžbi 133.) odredjena napetost u pogonskom užetu na strani <u>punog</u> užeta-nosača, a S_2 na strani <u>praznog</u>, na periferiji vitla javlja se sila :

$$Z = S_1 - S_2 \qquad 139.)$$

Ako je $Z > 0$ / pozitvno / nastupa slučaj čekrk-žičare. Ako je $Z < 0$ / negativno / potreban je motor, snage :

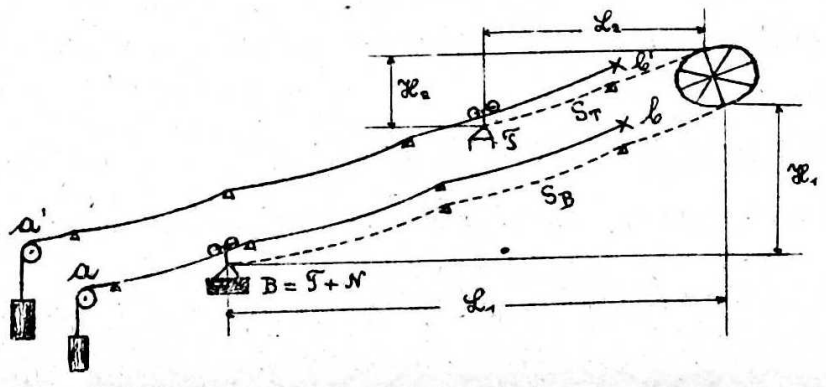
$$N = \frac{S_2 - S_1}{0{,}9} \qquad 140.)$$

i efekta

$$E^{KS} = \frac{Z \cdot v}{75}, \qquad 141.)$$

koji će pokretati promet na žičari sa brzinom od v m/sec. Ta brzina iznosi kod šumskih žičara redovno 2 do 2,5 m/sec , a kod čekrk-žičara povisuje se gdjekad sve do $v = 4$ m/sec. Račun treba postaviti naravno uz onaj položaj kolica na otvorenoj pruzi, uz koji Z poprima najveću moguću vrijednost.

<u>U specijalnom slučaju</u> na pr. čekrk-žičare sa otvorenim pogonskim užetom račun se odvija ovako. Budući takovo uže nije napeto sa utegom, nego samo sa punim kolicama na jednom kraju, a sa praznim na drugom kraju, bit će, uz oznake označene na slici 33, u pogonskom užetu na strani punog užeta nosača / ab / :



Slika : 33.

$S_w = 0$

$S_k = g_1 \cdot \mathcal{H}_1$ / iz jed. 135 /

$S_k = B \cdot \sin\varphi_1$ / iz 136 /

$S_t = (B + g_1 \mathcal{L}_1)\mu$ / iz 137 /

$S_i = (B + g_1 \mathcal{L}_1)0{,}03$ / iz 138 /

dakle ukupna napetost / iz 133 / :

$$S_1 = g_1 \mathcal{H}_1 + B\sin\varphi_1 - (B + g_1 \mathcal{L}_1)\mu - (B + g_1 \mathcal{L}_1)0{,}03$$

$$S_1 = g_1 \mathcal{H}_1 + B\sin\varphi_1 - (B + g_1 \mathcal{L}_1)(\mu + 0{,}03). \qquad 142.)$$

U pogonskom užetu uz prazno uže-nosač $(a'b')$ vlada pak napetost :

$$S_2 = g_1 \mathcal{H}_2 + T\sin\varphi_2 + (T + g_1 \mathcal{L}_2)(\mu + 0{,}03). \qquad 143.)$$

Ako je ova doista čekrk-žičara, za svaki položaj jednih i drugih kolica na užetu nosaču, t.j. za svaku vrijednost koordiniranih kuteva φ_1 i φ_2 mora biti diferencija $S_1 - S_2 > 0$ / pozitivna /. Smicanje pogonskog užeta oko vitla bit će pak posve isključeno, ako je za svaki mogući koordinirani položaj putujućih kolica na žičari :

$$\frac{S_1}{S_2} = n < n_0 = e^{\mu 2\pi x}. \qquad 144.)$$

U ovoj formuli označuje x broj punih omotaja pogonskog užeta oko vitla, a μ / redovno = 0,10 / koeficijenat trenja izmedju pogonskog užeta i vitla / isp. jed.10 str. 254 /.

Kolica žičare ne kreću se na krutoj podlozi kao kolica pozemnog čekrka. Za odredjenje u gornjim formulama označenih koordiniranih kuteva nagiba podloge / φ_1 i φ_2 / služi zbog toga umišljena kruta podloga, čija se linija pokriva sa linijom najvećih pregiba užeta nosača. Jednadžba te linije glasi / isp. form. 48, str. 345 / :

$$y_q = \frac{h}{l}x - \frac{x}{2a_q}(l - x). \qquad 145.)$$

Dakle je u polju raspona l , visinskog razmaka h i nagiba tetive $\operatorname{tg}\alpha = \frac{h}{l}$:

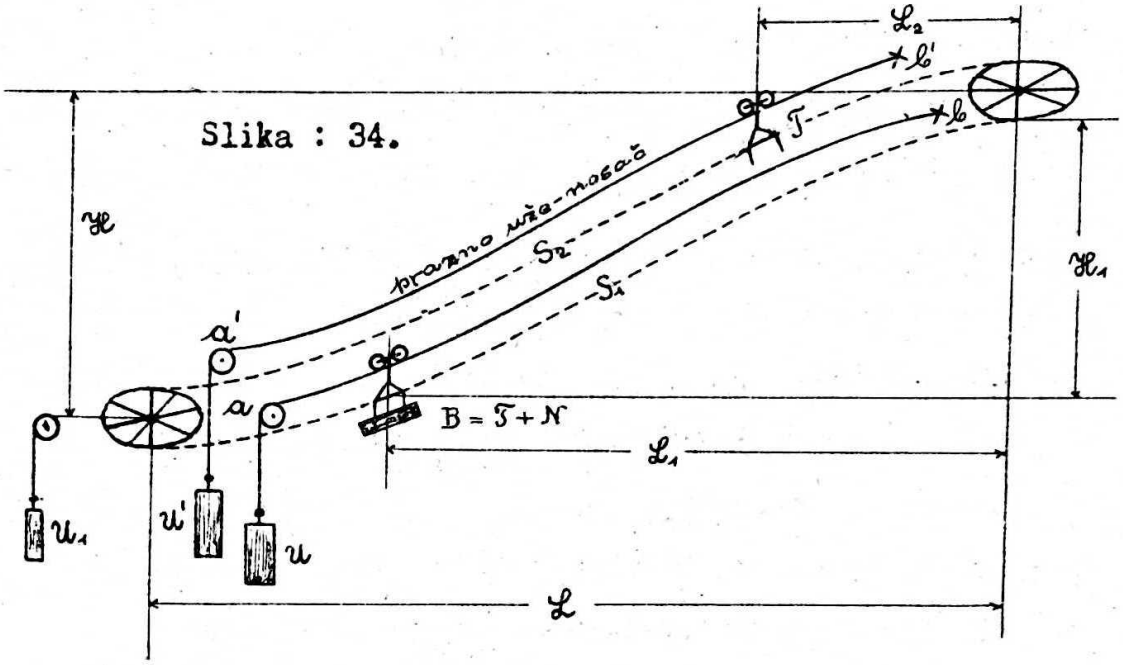
$$\operatorname{tg}\varphi = y'_q = \operatorname{tg}\alpha - \frac{1}{a_q}\left(\frac{l}{2} - x\right). \qquad 146.)$$

Parametar te linije odredjuje jednadžba (46) :

$$a_q = \frac{H}{q}. \qquad 147.)$$

Iz jednadžbe 146.) lako je onda odrediti nagib umišljene podloge žičare kao pod punim / $tg\varphi_1$ / tako i pod praznim kolicima / $tg\varphi_2$ / u povoljnim koordiniranim položajima.

U drugom specijalnom slučaju promatramo žičaru sa zatvorenim pogonskim užetom. Na jednom užetu-nosaču neka se spuštaju samo jedna natovarena kola / $K = B = T + N$ / , a na drugom neka se dižu opet prazna kolica / $K = T$ /.



Kod gornjeg vitla, u času polaska, u pogonskom užetu uz puno uže-nosač (ab) vlada napetost / iz jedn. 133 - 138 ; sl. 34 / :

$$S_1 = S_{u_1} + q_1 \mathcal{H} + B \sin\varphi_1 - (B + q_1 \mathcal{L})(\mu + 0{,}03) \qquad 148.)$$

a u pogonskom užetu uz prazno uže-nosač $(a'b')$

$$S_2 = S_{u_1} + q_1 \mathcal{H} + T \sin\varphi_2 + (T + q_1 \mathcal{L})(\mu + 0{,}03) \qquad 149.)$$

Ako je $S_1 > S_2$ za sve koordinirane vrijednosti kuteva φ_1 i φ_2 , t.j., ako je na cijelom putu jednih i drugih kolica $S_1 > S_2$, gravitacija dostaje za pogon žičare. U suprotnom slučaju, t.j., nadju li se koordinirane vrijednosti φ_1 / puno uže-nosač / i φ_2 / prazno uže-nosač / za koje je $S_1 < S_2$, gravitacija ne dostaje, nego je potreban još i motor za pogon žičare. Jednadžba :

$$Z = S_1 - S_2 = B \sin\varphi_1 - T \sin\varphi_2 - (B + T + 2\mathcal{L} q_1)(\mu + 0{,}03) \qquad 150.)$$

služi zbog toga kao kriterij, po kojemu se raspoznaje karakter pogona žičare, a služi ujedno i za odredjenje najveće vrijednosti na perife-

riji vitla nastale sile Z .

Sa putujućim kolicima mijenjaju se naime u ovoj jednadžbi samo vrijednosti $\sin\varphi_1$ i $\sin\varphi_2$. Ostale oznake u konkretnom slučaju su zadane konstante. Naročito posljednji član, jer predočuje ukupno trenje, može se sažeti u jednu oznaku :

$$R = (B + T + 2lg_1)(\mu + 0{,}03), \qquad 151.)$$

a stavimo li još : $B = nT$ 152.)

jednadžba 150.) prelazi u jednostavan oblik :

$$Z = (n\sin\varphi_1 - \sin\varphi_2 - \frac{R}{T})T . \qquad 153.)$$

Nije li nagib punog / φ_1 / i praznog / φ_2 / užeta-nosača velik, praktički se ne razlikuje $\sin\varphi$ od $tg\varphi$. Zbog toga se može staviti dovoljno tačno u naše svrhe u takovom slučaju :

$$\frac{Z}{T} = y_1 - y_2 = C \qquad 154.)$$

gdje je obzirom na jednadžbu 153.) i 146.):

$$y_1 = n\cdot\sin\varphi_1 \sim n\,tg\varphi_1 = n\cdot tg\alpha_1 - \frac{n}{a_{q1}}\left(\frac{l_1}{2} - x_1\right) \qquad 155a.)$$

$$y_2 = \sin\varphi_2 \sim tg\varphi_2 = tg\alpha_2 - \frac{1}{a_{q2}}\left(\frac{l_2}{2} - x_2\right) \qquad 155b.)$$

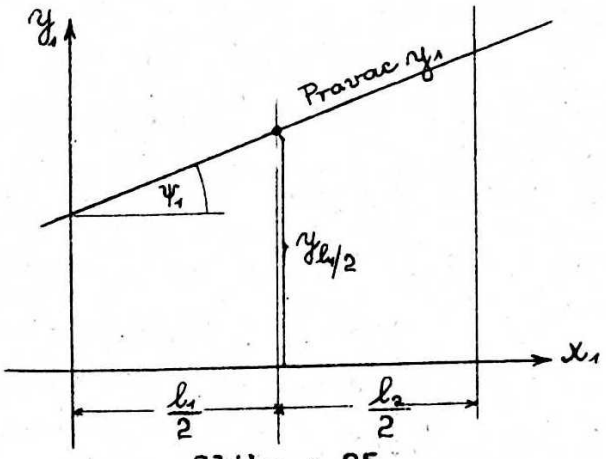
$$C = \frac{R}{T} = \left(n + 1 + 2g_1\frac{l}{T}\right)(\mu + 0{,}03) \qquad 155c.)$$

Budući su posljednje jednadžbe u istom polju / l / linearne, funkcija $\frac{Z}{T}$ moći će se predočiti u svakom polju s pomoću pravaca y_1 y_2 i C . Pravac y_1 , koji se odnosi na puno uže-nosač, crta se najbrže i najzgodnije, da se odredi njegov nagib prema osovini x_1 :

$$tg\psi_1 = \frac{dy_1}{dx_1} = \frac{n}{a_{q1}} \qquad 156a.)$$

i ordinate njegove tačke P u raspolovištu raspona l / iz 155a za $x = \frac{l_1}{2}$; sl. 35 / :

$$y_{l_1/2} = n\cdot tg\alpha_1 = n\cdot\frac{h_1}{l_1} . \qquad 156b.)$$



Slika : 35.

Analogno crta se pravac y_2 , koji se odnosi na prazno uže-nosač, da se odredi njegov nagib prema osovini x_2 :

$$tg\psi_2 = \frac{dy_2}{dx_2} = \frac{1}{a_{q_2}} \qquad 157a.)$$

i ordinata njegove tačke u raspolovištu raspona l_2 :

$$y_{l_2/2} = tg\alpha_2 = \frac{h_2}{l_2} . \qquad 157b.)$$

Treći pravac je paralela povučena u udaljenosti $C = \frac{R}{f}$ sa osovinom x_1, dotično x_2. Te osovine leže u istoj horizontali, no apscise x_1 i x_2 nanose se tako, da odgovaraju koordiniranim položajima kolica na žičari. O tom pdrobnije govori se poslije.

Uz veći nagib punog (φ_1) i praznog (φ_2) užeta-nosača, funkcija $\sin\varphi$ razlikuje se od funkcije $tg\varphi$. Jednadžba y_1 / 155a /, koja se odnosi na puno uže-nosač, poprima oblik :

$$y_1 = n \cdot \sin\varphi_1 = \frac{n \cdot tg\varphi_1}{\sqrt{1+tg^2\varphi_1}} \qquad 158.)$$

te ne predočuje sad pravac, nego krivulju, jer je / iz 146 / :

$$tg\varphi_1 = tg\alpha_1 - \frac{1}{a_{q1}}\left(\frac{l_1}{2} - x_1\right) \qquad 159.)$$

opet funkcija argumenta x_1. Nagib ove krivulje prema osovini x_1 izlazi iz jednadžbe 158/ sa :

$$tg\psi_1 = \frac{dy_1}{dx_1} = \frac{dy_1}{d\,tg\varphi_1} \cdot \frac{d\,tg\varphi_1}{dx_1} = \frac{n}{a_{q1}} \cdot \frac{1}{\sqrt{(1+tg^2\varphi)^3}} = \frac{n}{a_{q1}} \cdot \cos^3\varphi_1 \,. \qquad 160.)$$

Taj se nagib mijenja ali malo, jer se sa argumentom x_1 malo mijenja i funkcija $tg\varphi_1$ u praktičkim slučajevima šumskih žičara. Zbog toga ne čini se znatna pogriješka, ako se i u slučajevima $tg\varphi > \sin\varphi$ crta krivulja y_1 kao pravac, koji se pokriva sa tangentom te krivulje u raspolovištu raspona l_1 / u tački P_1 sl. 35 /. Tu tangentu / ili taj pravac y_1 / odredjuju onda ordinata raspolovišta / iz 159 i 158 za $x_1 = \frac{l_1}{2}$ / :

$$y_{l_1/2} = n \cdot \sin\alpha_1 \,; \quad tg\alpha_1 = \frac{h_1}{l_1} \qquad 161a.)$$

i konstantan nagib prema osovini x_1 / iz 159 i 160 za $x = \frac{l_1}{2}$ / :

$$tg\psi_1 = \frac{n}{a_{q1}} \cdot \cos^3\alpha_1 \,; \quad tg\alpha_1 = \frac{h_1}{l_1} \,. \qquad 161b.)$$

U istom slučaju / $tg\varphi > \sin\varphi$ / tangentu / ili pravac / y_2 / prazno uže analogno odredjuju jednadžbe :

$$\left.\begin{aligned} y_{l_2/2} &= \sin\alpha_2 \,; \quad tg\psi_2 = \frac{\cos^3\alpha_2}{a_{q2}} \,. \\ tg\alpha_2 &= \frac{h_2}{l_2} \,. \end{aligned}\right\} \qquad 162.)$$

Cijeli postupak najbolje će razjasniti konkretan

Primjer. Zadana je žičara samo sa dva polja, prema uzdužnom profilu predočenom na slici 36. Puno uže-nosač ima promjer 34 mm, a sukano je od 37 žica promjera $\delta = 4{,}8$ mm. Prazno uže-nosač ima promjer 24 mm a sukano je od 37 žica promjera 3,4 mm. Za jedno i drugo uže je $\sigma_B = 14.500$ kg/cm^2. Pogonsko uže je beskonačno, a istodobno nalaze se na

žičari samo po jedna puna i po jedna prazna kolica. Za naš račun potrebni ostali podaci o toj žičari iskazani su u tablici 7.-

Zadani podaci žičare sl. 36.

Tablica : 7.

Puno uže-nosač			Prazno uže-nosač		
Polje:	①	②	Polje:	①	②
h_1	220 m	37 m	h_2	220 m	37 m
l_1	480 m	136 m	l_2	480 m	136 m
$tg\alpha_1$	0,45833	0,27206	$tg\alpha_2$	0,45833	0,27206
$\sin\alpha_1$	0,41665	0,26252	$\sin\alpha_2$	0,41665	0,26252
$\cos\alpha_1$	0,90907	0,96493	$\cos\alpha_2$	0,90907	0,96493
α_1	24°37'25"	15°13'10"	α_2	24°37'25"	15°13'10"
$\mathcal{T}$	350 kg		$\mathcal{T}$	350 kg	
$\mathcal{N}$	900 kg		$\mathcal{N}$	·	
B	1250 kg		B	·	
$\mathcal{U}$	24000 kg		$\mathcal{U}'$	12000 kg	
g	5,7 kg/m		g	2,85 kg/m	

Najprije je potrebno odrediti liniju umišljene krute podloge po kojoj se gibaju kolica. Pretpostavlja se, da je ta linija parabola, koje parametar odredjuje jednadžba 147/. Po profesoru Findeisu u tu svrhu dovoljno je staviti $H \sim \mathcal{U}$, a $q = g + \frac{\mathcal{K}}{l}$. Parametar umišljene krute podloge, parabole punog užeta bit će onda / iz 147 / :

$$a_{q_1} = \frac{\mathcal{U}}{g + \frac{B}{l_1}} \qquad 163a.)$$

a parabola praznog užeta-nosača :

$$a_{q_2} = \frac{\mathcal{U}'}{g + \frac{\mathcal{T}}{l_2}} \qquad 163b.)$$

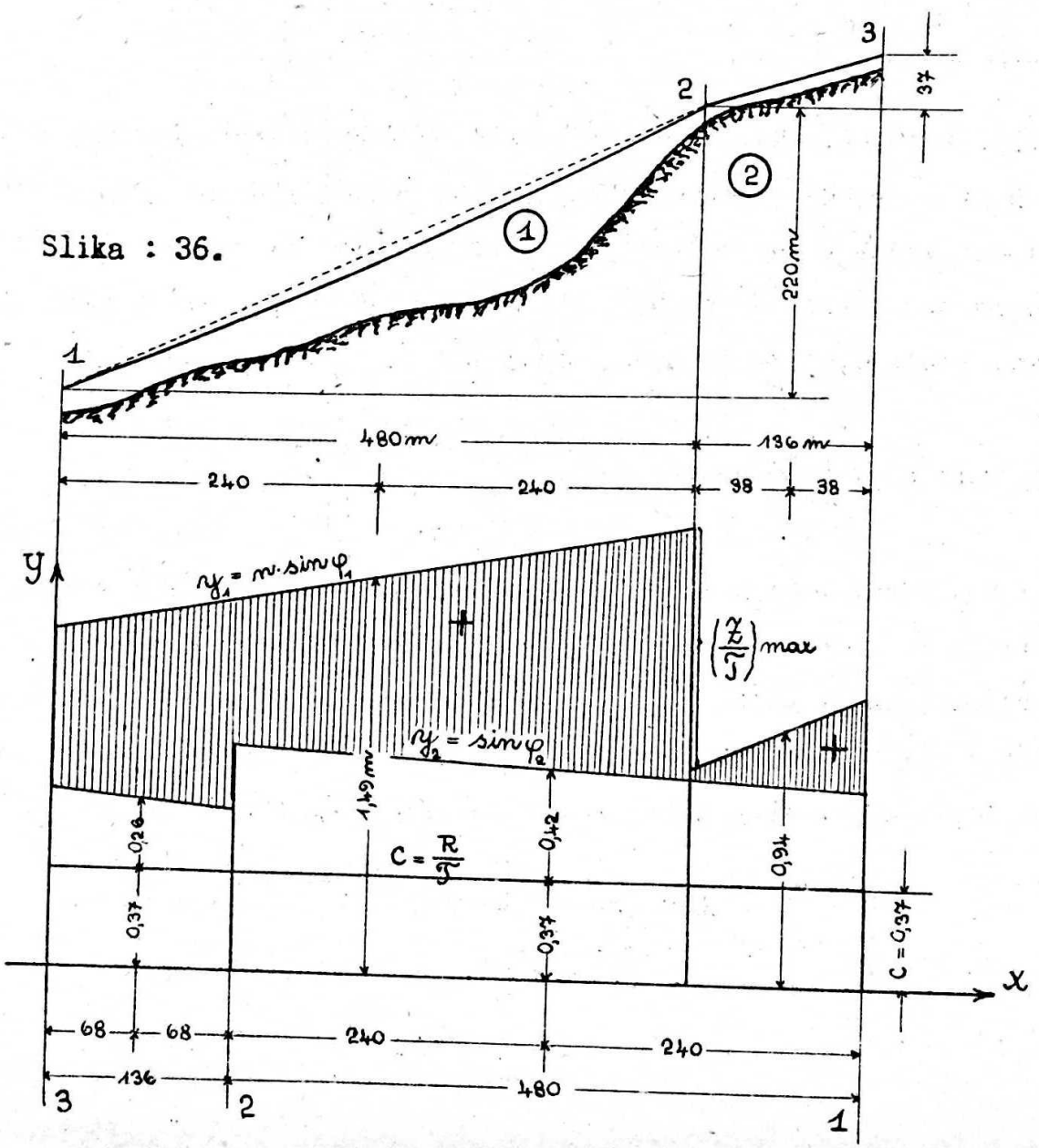
Daljnji račun odvija se na temelju formula 161/ i 162/, te podataka tablice 7, a dobiveni rezultati iskazani su u tablici 8. Podaci ove tablice odredjuju pravce y_1 i y_2 formule 154/ za jedno i drugo uže u jednom i drugom polju. Jednadžba pravca C izlazi pak iz formule 155c/ ako težina pogonskog užeta iznosi $g_1 = 0,8$ kg/m , sa :

$$C = \frac{R}{\mathcal{T}} = \left(3,57143 + 1 + 2 \times 0,8 \cdot \frac{480 + 136}{350}\right)\left(0,02 + 0,03\right)$$

$$C = 0,37 \text{ m}.$$

Puno uže-nosač			Prazno uže-nosač		
Polje:	prvo	drugo	Polje:	prvo	drugo
$\frac{B}{l_1}$	2,60 kg/m	9,19 kg/m	$\frac{T}{l_2}$	0,73 kg/m	2,57 kg/m
$g+\frac{B}{l_1}$	8,3 kg/m	14,89 kg/m	$g+\frac{T}{l_2}$	3,58 kg/m	5,42 kg/m
$a_{q_1}=\frac{u}{g+\frac{B}{l_1}}$	2892 m	1612 m	$a_{q^2}=\frac{u'}{g+\frac{T}{l_2}}$	3352 m	2214 m
$n=\frac{B}{T}$	3,57143	3,57143	·	·	·
$y_{l_1/2}=n.\sin\alpha_1$	1,49	0,94	$y_{l_2/2}=\sin\alpha$	0,42	0,26
$\cos^3\alpha_1$	0,75125	0,89843	$\cos^3\alpha_2$	0,75125	0,89843
$\frac{n}{a_{q_1}}$	0,001235	0,002216	·	·	·
$tg\psi_1=\frac{n}{a_{q_1}}\cos^3\alpha_1$	0,00093	0,00199	$tg\psi_2=\frac{\cos^3\alpha_2}{a_{q^2}}$	0,000224	0,000406

Tablica: 8.



Slika : 36.

Pravac y_1 punog užeta-nosača nacrtan je za jedno (1) i drugo (2) polje redom upora 1 - 2 - 3 - u vrhu nacrta. Pravac y_2 praznog užeta-nosača, za jedno (2) i drugo (1) polje, nacrtan je obrnutim redom upora 3 - 2 - 1 u dnu nacrta ; jer kad se puna kolica dižu, spuštaju se prazna u suprotnom smjeru. Zbog toga se pravci y_1 dižu, a pravci y_2 spuštaju . Na taj način izlazi diferencija $y_1 - y_2 - C$ u istoj ordinati za svaki koordinirani položaj jednih i drugih kolica. U ovom primjeru je ta diferencija naskroz pozitivna / $y_1 > y_2 + C$, šrafirani dio diagrama /. Žičara je doista čekrk-žičara. Sila Z na periferiji vitla je najveća, kad se puna kolica nalaze tik pred drugom uporom / $\frac{Z}{S}$ max./. U tom slučaju je i napetost u pogonskom užetu najveća. Kad bi bila diferencija $y_1 - y_2 - C$ negativna u kojem dijelu diagrama, t.j. kad bi se crta y_2 dizala nad crtu y_1 , potreban bi bio motor za pogon žičare.

Analogan diagram može se crtati i u slučajevima, u kojima istodobno putuju po više kolica na žičari / isp. literaturu citiranu na kraju /.

Vitao pogonskog užeta redovno ima promjer 1,5 do 2,5 m / najmanje $D \geqq 1000\,\delta$ /. Dužina puta utega pogonskog užeta / ili puta vitla na sanjkama / računa se sa 2 do 3 m po prvom kilometru žičare, a za svaki daljnji kilometar dodaje se još po jedan metar.-

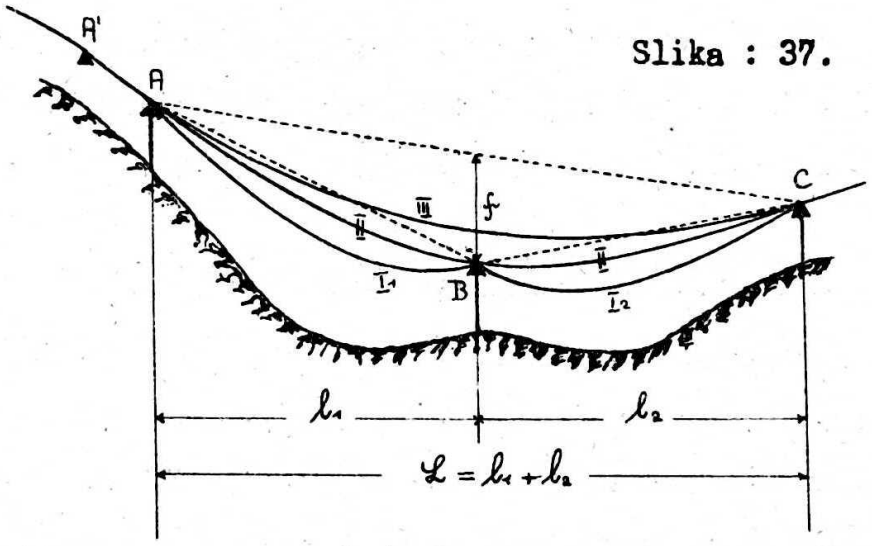
f./ L i n i j a z r a č n e ž i č a r e .

U približno ravnom terenu linija žičare ne nailazi na poteškoće. Upore / stupove / treba smjestiti po mogućnosti u jednakim razmacima od 80 do 120 m. Visina stupova uz taj razmak mjeri 8 do 12 m. Treba se još osvjedočiti, da li je uz odabrani razmak stupova osigurana dovoljna visina za prolaz ispod žičare. Parametar užnice užeta-nosača normalno se kreće izmedju 4000 i 5000 m. Lako se dakle izrade šablone parabola sa parametrima 4000, 4100, 4200, . . . 5000 , pa s pomoću njih ucrtaju parabole medju upore. Oduzme li se još ispod tako nacrtane parabole prostor, koga zauzimaju kolica, pa pogonsko uže, moći će se prosuditi visina, koja još preostaje za prolaz ispod žičare. Nije li

tako pronadjen prolaz dovoljno visok, treba povisiti stupove, ili smanjiti njihov razmak. Odlučuju troškovi. U ostalom, uz rečenu normalnu visinu i normalan razmak stupova slobodna visina ispod ovješenih kolica redovno se nalazi u propisanoj granici.

Na tlu, konveksnom prema gore, linija se polaže po mogućnosti paralelno sa tlom. Kut pregiba prazne užnice nad uporom može da mjeri tek 2 do 8 % / isp. tačku 12b , zatim form. 131 na str. 384 /. Zbog toga odabire se malen razmak / minimum 8 do 10 m / i niski stupovi / 3,5 do 4 m /. Prelaz preko oštrih hrptova iziskuje naročite naprave / opisane u poglavlju d. str. 313 /.

Posebnu pažnju iziskuje tlo konkavno prema gore. Kod takovog tla leži ležaj srednje upore B / sl. 37 / ispod spojnice AC najbližih susjednih upora A i C . Slabo napeto uže može da leži na svim uporama u obliku užnica $\underline{I}_1$ i $\underline{I}_2$. Jače napeto uže možda će tek tangirati ležaj srednje upore B u obliku užnice $\underline{II}$. Još jače napeto uže izdiže se iznad upore B u obliku užnice $\underline{III}$. Uže-nosač zračnih



Slika : 37.

žičara napeto je doduše uvijek sa istim utegom U , no mijenja svoj oblik pod teretom putujućih kolica. Najveće pregibe pokazuje puno uže, a najmanje prazno. Puna užnica može da poprimi oblik krivulja $\underline{I}_1$ i $\underline{I}_2$ ili barem oblik krivulje $\underline{II}$, a prazna oblik krivulje $\underline{III}$. U prvom slučaju leži uže na upori B ili ju barem tangira, a u drugom je izdignuto iznad te upore. No onda se može desiti i to, kad

uže bude ponovno opterećeno sa kolicima, da ne sjeda opet tačno u užljebinu ležaja upore B , nego mimo nje, na koje drugo mjesto konstrukcije stupa, zbog česa neminovno zapne promet na žičari. Izdizanje užeta sa ležaja zbog toga treba spriječiti pod svaku cijenu. Postizava se to, da se odredi visina ležaja srednje upore B s pomoću t.zv. dolinske krivulje ili prenapete užnice. Pretpostavi se najprije, da srednje upore B nema uopće, pa se nacrta ili odredi užnica praznog užeta raspona $\mathcal{L} = l_1 + l_2$. Njezin pregib nad mjestom upore B neka je f . Budući prazna užnica imade najmanje pregibe, ležaj upore B trebao bi da leži barem f duboko ispod spojnice AC , ako se želi, da ga uže nosač barem tangira u svom najnepovoljnijem položaju. Teoretski oblik prazne užnice ne pokriva se ali posve tačno sa praznim užetom-nosačem uistinu. Razlog leži u poznatoj činjenici, da svaka teorija dočarava samo više manje tačno stanje uistinu. Zbog toga se stavlja ležaj upore B još i više, tako, da leži ispod spojnice AC tek $0{,}7 \sim 0{,}8\, f$ duboko. Užnica, koja tangira u toj visini ležaj upore B , je spomenuta dolinska krivulja, parabola, parametra 1,2 do 1,5 puta većeg od parametra užnice praznog užeta raspona $\mathcal{L} = l_1 + l_2$. Može se konstruirati i tako, da se namjesto stvarne težine utega $\mathcal{U}$ / ili horizontalnog napona H / uzme u račun povećana težina utega $1{,}2 \sim 1{,}5\, \mathcal{U}$ / ili povećani horizontalan napon $1{,}2 \sim 1{,}5$ H /. Traži li takova prenapeta užnica anormalno veliku visinu srednje upore B , nema druge, nego na-mjesto dva manja raspona l_1 i l_2 osnovati samo jedan, većeg raspona $\mathcal{L} = l_1 + l_2$. Prenapeta užnica redovno se rijetko prilagodjuje obliku tla toliko, koliko je potrebno za najpovoljniju visinu i razdiobu stupova. Poradi toga relativno je najteže prilagoditi liniju žičare tlu, konkavnom prema gore. Na sreću, žičara je prilično nezavisna o konfiguraciji tla, jer se mogu premostiti razmaci čak 1,5 km dugački samo sa jednim rasponom, kako je već spomenuto bilo / str. 312 /. Uza sve to, treba potražiti prosjek doline, koji se najbolje prilagodjuje prenapetoj užnici u konkretnom slučaju, da se postigne što manji gradjevni trošak.

Uže velikog raspona teško je naime samo po sebi, zbog velike dužine, a opterećeno redovno još i sa više punih kolica istodobno, izazivlje vrlo velike reakcije na ležajima stupova. Osim toga na takovim ležajima nastaju i razmjerno veliki kutevi pregibanja. Te se nepovoljne pojave smanjuju, da se stavlja dovoljno blizu / 10 do 20 m / još jedna upora / A' sl. 37 / do rubne upore (A) tako, da spojnica ležaja obiju upora (AA') leži u tangenti prenapete užnice. Na taj način smanjuje se naročito pritisak na rubnoj upori (A).

Najpovoljniji oblik linije žičare u situaciji redovno je pravac. Iznimno može biti povoljnija i slomljena crta, koja osigurava žičari gravitacioni pogon u prilikama, u kojima bi pravac tražio motorni pogon. Takav slučaj nastupa na pr., kad slomljena crta obilazeći hrbat jednolično pada, dok pravac prelazeći preko hrpta pokazuje velike protunagibe. Oblik linije u situaciji bitno zavisi u ostalom još i o potrebama šume, pa izvoza. Linija treba da se lomi gdjekad zbog potrebe utovara izim na početnoj stanici još i na drugom kojem mjestu. Svaka naprava podignuta na lomu smjera naime može poslužiti i kao utovarna stanica, dapače i kao čvorište priključene sporedne žičare. Ta naprava zgodno se upotrebljava još i kao stanica za napinjanje i učvršćenje užeta nosača, naročito pak kao stanica za obnovu pogona, općenito ali lom smjera u situaciji povisuje gradjevni trošak, te se ne osniva bez očigledne ili valjano obrazložene potrebe.-

g. Gradnja i uzdržavanje žičare.

Na temelju brižno iskolčene trase pa detaljno obradjenog operata izvadjaju se najprije predvidjene i potrebne zemljoradnje. Za ovima slijede zidarske radnje : temeljno zidje stupova, stanica i drugih osnovanih naprava. Paralelno slažu tesari na zemlji drvene konstrukcije : skelete upora, vezove stanica itd., da bude sve ovo na vrijeme gotovo i spremno za podizanje. Kad su betonski fundamenti dovoljno otvrdnuli, podižu se stupovi, vezovi itd., s pomoću zgodno ugradjenih pomoćnih skela, lantena i kolotura na svoje definitivno mjesto. Naročitu pažnju iziskuje montaža ukapčališta pa

iskapčališta na stanicama, jer tu treba da je svaki dio tačno na svom mjestu. Najzad slijedi montaža sprovodnih točkova i šinja. Ležaji montiraju se na upore, dok još ove leže na zemlji. Kad su ove radnje dovršene, dolazi na red uže-nosač. Troškovi dopreme teškog žičnog užeta na lice mjesta gradnje redovno su veliki, zbog terenskih prilika. Poradi toga potrebno je već unaprijed, prema osnovi, odrediti mjesto, na koje valja dopremiti pojedini komad, sastavni dio buduće pruge žičare, pa dobro organizirati i nadzirati transport do tog mjesta. Žično-uže isporučuju tvornice namotano na drvenim kolutima ili u kolutu sličnom svežnjevima, u komadima transportu primjerene težine. Uže se odmata s pomoću vitla vertikalne osovine tako, da uvijek ostane ispruženo na zemlji duž pruge. Na strmom tlu valja ga osigurati proti klizanju : učvrstiti konopom na obližna stabla ili slično. Pojedi^mi tako odmotani komadi spajaju se zatim u jednu cjelinu s pomoću spojki / isp.str.225 /. Spojke se ne stavljaju blizu stupova, nego daleko od njih, u slobodno polje, da ne smetaju prometu preko ležaja. Po tom se diže uže sa zemlje, s pomoću ko^lo turnika na ležaje stupova. Napinje se pak najprije prazno uže-nosač i to s pomoću naročitog vitla, ugradjenog na stanici, na kojoj će uže biti čvrsto usidreno, pa s pomoću koloturnika na više mjesta. Na drugi kraj užeta ovjesi se uteg, koji je ali opterećen u početku najviše sa 2/3 predvidjenog opterećenja. Potom se s pomoću vitla i koloturnika napinje i poteže uže tako dugo, dok se uteg ne digne na najviši predvidjeni položaj. Ako je sad sve u redu, učvrsti se uže-nosač i spoji sa napravom za usidrenje, odriješi od pomoćnog vitla, a uteg optereti do punog iznosa predvidjenog opterećenja. Na jednaki način odvija se montiranje i napinjanje punog užeta-nosača. Konačno se montira još i pogonsko uže, koje se ali ne spaja sa spojkama, nego na način opisan na strani 231. Montiranje i napinjanje užeta žičare najmučniji je dio gradnje. Iziskuje brižnu organizaciju, i tom poslu izvježbane ljude, te u tu svrhu naročito izradjeni pribor, alat i strojeve. Sa nepovoljnim terenskim prilikama poteškoće rastu, a rijetko je taj posao tako jednostavan, kako je ovdje skiciran u najkrupnijim potezima. Na svršetku treba još obići cijelu ži-

čaru i pregledati sve njezine dijelove, nijesu li možda deformirali ili stradali od napinjanja, naročito stupove, ležaje, svornice itd. Opažene deformacije treba ispraviti, svornice pritegnuti i cijelu žičaru staviti u besprijekorno stanje.

U prometu valja žičaru takodjer brižno uzdržavati. Žično-uže treba mjesečno barem jedamputa uljiti sa naročitim, žitkim uljem / uže-nosač sa Kabelinom, a pogonsko uže sa Diaparinom /. U tu svrhu služe naročiti aparati pričvršćeni na normalna ili naročita kolica žičare, koja vozeći po užetu ujedno ga i mažu. Ležaje na stupovima, sprovodne točkove na otvorenoj pruzi, pa na stanicama takodjer treba uljiti od vremena do vremena konsistentnim mazom. Jednako svi pokretni dijelovi kolica treba da su dobro namazani u svako doba, sa mazom prostim od kiselina. Svaki dio kolica u prometu treba da je čist i bezprijekoran / naročito spojke/, jer na pr. prekid samo jednog lanca na kolicima uzrokuje već prekid prometa. Osim toga treba obilaziti žičaru od vremena do vremena / mjesečno, godišnje / pa pregledati sve njezine dijelove : užeta, ne kidaju li se pojedine žice u njima u većoj mjeri; spojke,da li su sve u redu; utege, nijesu li preblizu zemlje ili dapače sjeli na zemlju; vitla, nijesu li odviše ohabana u užljebinama / novo potkoženje /, položaj sanjka, na kojima je montirani vitao pogonskog užeta; sprovodne točkove i valjčiće, nijesu li odviše istrošeni; stupove, nijesu li se nagnuli itd. Naravno sve opažene mane treba odmah otstraniti.

Sa prometom pak zaposleno radništvo treba da pozna po mogućnosti svaki sastavni dio žičare i njegovo djelovanje, naročito ono, zaposleno na ukapčalištu i iskapčalištu, da otpušta i prima vješto i po mogućnosti tačno svaki voz u propisanim vremenskim razmacima.

Za redovno uzdržavanje žičare osim zgodnog alata i pribora potreban je i rezervan materijal za obnovu onih dijelova, koji se brzo troše / zupčani točkovi, vitla, sanjke, žično uže, spojke, valjčići, sprovodni točkovi, ležaji i pojedini dijelovi kolica itd. / .

h. Z a k l j u č a k .

Od svih transportnih sretstava zračna žičara najmanje zavisi o terenskim prilikama. Najveće uspone / ≦ 100 % / svlada lako na razmjerno kratkom putu. Gradi se razmjerno brzo prema ostalim transportnim sretstvima, te je nezavisna i o vremenskim prilikama. Funkcionira u svako doba. Prema potrebi lako se demontira i prenosi na drugo koje mjesto / prenosive žičare /. Štedi i štiti kao robu / kalo gotovo nikakav / tako i tlo, kojim prolazi / oduzima najmanje korisnog tla /. Otpremati se mogu tereti velike težine. Na 10 km. dugačkoj Bleichertovoj žičari Batura - Sjenić - Predov Krst kraj Drine u Srbiji / Prometna Banka / mogu se otpremati u jednom vozu 18 m. dugačka deblovina ukupno 3^t teška. Izgradjene su već i šumske žičare, koje podnose i tovar od 4^t / Bosna /. Krajna granica netto tovara jednog voza iznosi danas cca 5^t. Vozovi običnih šumskih žičara rijetko se ali opterećuju sa većim teretom od 600 do 1200 kg. / 1 do 2 šumska metra /. Poželjna je takodjer što manja dužina trupaca, budući sa dužinom rastu dimenzije, a onda i troškovi utovarnih,pa istovarnih stanica. Prema tovaru udešen je razmak vozova. Što je tovar veći, više vremena treba za utovar pa istovar robe. Zbog toga se na šumskoj žičari otpremaju vozovi u većim vremenskim razmacima, od 4 do 6 minuta,već prema tovaru. Unatoč togaurad moderne žičare je velik. Spomenuta već 26,3 km. dugačka šumska žičara Balindru - Riu Sadalui u Rumunjskoj / izvela tvrtka Kaiser / otprema 1000 m^3 oblovine po satu / cca 900 tona/sat /, iako se vozovi gibaju na njoj tek sa brzinom od 2 m/sec. Žičare sa efektom od 200 do 500 t/sat nijesu rijetkost. Normalno se ipak grade šumske žičare sa kud i kamo manjim efektom, od 10 do 100 tona/sat. Po dužini dosižu i presiži šumske željeznice. U Rusiji, u području Volge, izveli su žičaru 80 km. dugačku. Normalne šumske žičare ipak su najčešće do 5, a rijetko više od 10 km. dugačke. U relaciji prema drugim transportnim sretstvima žičara treba malo motorne snage za pogon. Kraća žičara radi uz nagib od cca 15 % bez

motora, samo usljed djelovanja gravitacije, a duža dapače već uz prosječan nagib od 6 do 10 %. Potrebna posluga takodjer je malobrojna, prema tome su i ukupni prometni troškovi neznatni. No zato su veliki investicioni troškovi, naročito gorskih žičara.

Ovi troškovi zavise toliko o mjesnim prilikama, pa o karakteru i efektu žičare da je jedva moguće iznijeti o njima općenito vrijedne podatke. Naročito doprema sastavnih dijelova pa montiranje istih varira toliko prema prilikama kraja, da se o njima izvjesno može govoriti tek u konkretnom slučaju. U tom smislu izdala je tvrtka Bleichert tablicu o troškovima izgradnje jednostavnih dvopružnih žičara u predratnim markama, kako slijedi / tablica 9. / :

Efekat ton/sat	Dužina žičare u m.			
	500	1000	2000	5000
5	9.250	12.750	19.250	41.000
10	10.000	14.250	21.750	47.750
20	12.000	17.000	27.000	61.500
40	14.250	21.500	36.250	86.750
60	17.000	26.000	45.000	104.000
80	19.500	30.000	52.000	122.500
100	21.750	33.500	58.750	140.000

Iskazani iznosi daju osrednje troškove izgradnje žičare na položitom tlu, sa malom visinskom razlikom početne i završne stanice. U tim iznosima uključena je pruga, početna i završna stanica, pa kolica. Nije uračunat trošak motora, trošak transporta / od Leipziga / do mjesta gradnje, trošak montiranja, pa drven i drugi gradjevni materijal, potreban za podizanje upora i stanica.

Po iskustvu, stečenom u austrijskim šumama, dvopružno gorsko žično čilo stoji okruglo od 60.000 do 100.000 šilinga po kilometru. U tim sumama su ali uključene sve radnje i dobave.

Domena žičare je gorski, teško pristupačan kraj, bogat na drvnoj masi. Upotrebljava se redovno tamo gdje treba izvesti veliku masu u kratko vrijeme / prašume, gola sječa, šumske katastrofe od vjetra na velikim

površinama itd /. Kraća i jeftinija točila rado se upotrebljavaju i u normalnim šumskim prilikama, u brdovitom kraju, nepodesnom za ostala transportna sretstva.-

- L i t e r a t u r a -

P. Stephan : Die Drahtseibahnen.

H. Findeis : Rechnerische Grundlagen des Baues von Drahtseilbahnen.

L. Hauska : Das forstliche Bauingenieurwesen Bd.1. Riesenlagen und Seilbahnen.

Der Eisenbahnbau. 8 Bd. Lokomotiv - Steilbahnen und Seilbahnen / R. u S. Abt /.

Glatz. J. Rieswege und Drahtseilriesen.

Ispravi pogreške !

/ Poglavlje C. Žičare / .

Str. 265 , redak 11 odozdo : poslije riječi " dakle " dodaj : ($\sigma_B = 6000\ kg/cm^2$)

- " - - " - 10 - " - : namjesto $\frac{600}{5} + \cdots$ treba $\frac{6000}{5} + \cdots$

- " - - " - 7 - " - : u nazivniku ispod korijena namjesto 1200 treba da stoji 2900 .

Str. 266 , Tablica 1 , u glavi posljednjeg stupca treba da stoji $Q \leqq 158\,F$ namjesto $Q \leqq 43F$.

Str. 267 , redak 11 odozdo treba da stoji $\frac{100}{300}$ namjesto $\frac{100}{200}$

Str. 272 , redak 8 odozgo treba 70 × 15 mm. mjesto 70 15 .

- " - - " - 10 - " - " - „ tačke A " mjesto " točka A "

Str. 282 , redak 1 odozgo treba " dvije " mjesto " donje " .

Str. 307 . Mjesto " 4. Zračna željeznica " bolje :

" 4. Žična željeznica " .

Str. 339 redak 11 odozdo mjesto $x = 0$ treba : $h = 0$.

- " - " - 2 i 1 -"- -"- $\sqrt{\frac{a^2+x^2}{2}}$ treba $\frac{\sqrt{a^2+x^2}}{2}$.

Str. 345 form. 44./ mjesto $y'_p = tg\varphi_p - \frac{h}{l_p} - \ldots$

treba : $y'_p = tg\varphi_p = \frac{h}{l} - \ldots$

Str. 354. Treća formula 68a/ treba da počinje sa $cosec\varphi = \ldots\ldots$ ",

a ne sa „$cos\varphi = \ldots$"

Str. 360. Treći redak odozgo treba da počinje sa $k^2 = \ldots$.

a ne sa $k = \ldots\ldots$

Str. 368. U formuli 89/ treba $\left(\frac{h}{2} - f\right)$ mjesto $\left(\frac{h}{2} = f\right)$.

- S a d r ž a j -

Str.

A. K l i z i n e .

1. Općenito . . . 3
2. Valjanje, kotrljanje drva na ravnom tlu . . . 4
3. Spuštanje drva na obloženom tlu . . . 5
4. Plazajica . . . 5
5. Točilo izradjeno u zemlji . . . 7
6. Putoklizina.
   - a. Općenito . . . 7
   - b. Gornji stroj . . . 9
   - c. Donji stroj i objekti . . . 18
   - d. Linija putoklizine . . . 20
   - e. Predradnje i gradnja . . . 24
   - f. Uzdržavanje . . . 25
   - g. Odvijanje prometa na putoklizini . . . 25
   - h. Zaključak . . . 27
7. Nadzemno točilo.
   - a. Općenito . . . 28
   - b. Gornji stroj . . . 29
   - c. Donji stroj . . . 33
   - d. Ostali uredjaji gornjeg stroja . . . 37
   - e. Reguliranje kliskosti i brzine klizanja . . . 39
   - f. Razdioba i upotreba nadzemnih točila . . . 43
   - g. Linija nadzemnog točila . . . 44
8. Račun kod klizina.
   - a. Općenito . . . 46
   - b. Klizanje u pravcu . . . 50
   - c. Klizanje na lomu nagiba
     - α. Tačan račun . . . 53
     - β. Približan račun . . . 58

Str.

d. Klizanje u luku cilindričke spirale.

α. Općenito . . . 62

β. Uvjeti, uz koje tijelo opisuje cilindričku spiralu konstantnog nagiba u prostoru . . . 63

γ. Uvjeti, uz koje klizi teško tijelo jednoličnom brzinom na klizini u liniji cilindričke spirale . . . 67

δ. Mijena brzine u žlijebu u liniji cilindričke spirale . . . 73

ε. Mijena brzine na švarcvaldskom gornjem stroju u liniji cilindričke spirale . . . 97

e. O prelaznoj krivulji. 109

f. Mijena brzine u gornjem stroju ∇ oblika. 109

g. Računska linija. 112

9. Vodeno točilo.

a. Općenito . . . 130

b. Gornji stroj . . . 130

c. Donji stroj . . . 136

d. Ostali uredjaji . . . 137

e. Linija vodenog točila . . . 139

f. Zaključak . . . 141

Literatura. 141

B. P l a v l j e n j e .

1. Općenito . . . 142

2. O vodotocima i o prilikama, koje pogoduju plavljenju . . . 145

3. Dotjerivanje naravnih vodotoka u podesno stanje za plavljenje. Umjetni kanali. . . 148

4. Ustave . . . 153

5. Uredjaji za skretanje i hvatanje plavljenog drva. 181

6. Dotjerivanje uredjaja za plavljenje u najnovije doba. 200

Str.

7. O drvu, koje se otprema plavljenjem. 209
8. Izvršenje plavljenja. 210
9. Plavljenje i tudji interesi. 212
10. Uporedjenje sa ostalim transportnim sretstvima ; Zaključak . . . 213
Literatura. 216

C. Ž i č a r e .

a. Općenito . 217
b. Žično uže .

1. Materijal i konstrukcija žičnog užeta . 217
2. Elastično ponašanje užeta, naprezanje i napetost u njemu . 233

c. Čekrk i uspinjača.

1. Princip . 237
2. Linija . 238
3. Donji stroj . 241
4. Gornji stroj . 242
5. Ostali uredjaji . 247
6. Pogonsko uže čekrka . 252
7. Pogonsko uže i pogon uspinjače . 256
8. Zaključak . 259

d. Zračne žičare.

1. Podrijetlo zračnih žičara. 262
2. Žično točilo . 263
3. Točilo od žičnog užeta . 269
4. Zračna željeznica . 307

e. Teorija zračnih žičara.

1. Užetni poligon . 316
2. Užnica / die Seilkurwe / . 332
3. Parabola kao užnica . 337
4. Primjer i nadopuna . 342

Str.

5. Lančanica. 350
6. Primjer i nadopuna. 355
7. Drugi primjer i nadopuna. 358
8. Lančanica i napetost u užetu. 361
9. Primjer i nadopuna. 362
10. Odredjenje horizontalnog napona užnice (H), ako je zadana napetost užeta na jednom od obaju uporišta. 364
11. Učvršćenje užeta nosača na modernim žičarama i posljedice tog učvršćenja. 373
12. Uže kao kontinuirani nosač na više upora. 378
13. Primjer. 385
14. Pogonsko uže i pogon. 397

f. Linija zračnih žičara. 405
g. Gradnja i uzdržavanje žičare. 408
h. Zaključak. 411

Literatura. 413